

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Andrei Stepanov

SUUNNITELMA HIRSITALON RAKENTEIDEN KORJAUKSISTA
MÄÄRÄYSTEN MUKAISIKSI

Opinnäytetyö

maaliskuu 2016



OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2016
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
013-2606800

Tekijä
Stepanov Andrei

Nimeke
Suunnitelma hirsitalon rakenteiden korjauksista määräysten mukaisiksi

Toimeksiantaja Yksityinen

Tiivistelmä

Työn tarkoituksena oli suunnitella hirsirakenteisen omakotitalon asuinkerroksen rakenteet turvallisiksi ja terveellisiksi asuintilan käyttäjille. Tehtävänä oli suunnitella kantavien rakenteiden kestävyys sekä ulkovaipan lisälämpöeristys. Samalla oli laadittava rakenteiden toteutusohje.

Rakenteiden suunnittelu toteutettiin käsinlaskentana, FINNWOOD 2.3 SR1-mitoitusohjelmalla ja AutoCAD-piirto-ohjelmalla.

Suunniteltujen rakenteiden ohjeet tullaan hyödyntämään tulevaisuudessa hirsirakenteisen omakotitalon korjausrakentamisen yhteydessä.

Kieli
Suomi

Sivuja 35
Liitteitä 21
Liitesivuja 103

Asiasanat

Hirsirakenteet, Rajatilamenetelmä, Lämmönläpäisykerroin



THESIS
March 2016
Degree Programme in Civil Engineering
Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. +358 13 2606800

Author (s)
Stepanov Andrei

Title
Fixing Log House Structures to Comply with the Rules

Commissioned by
Private client

Abstract

The purpose of thesis was to design log house structures in the residential floor to be safe and healthy living space for the users. The aim was to design the strength of the load-bearing structures, as well as the additional heat insulation for the outer shell. At the same time, the aim was to make instructions for the execution of the work on structures.

Calculations for the structural design were carried out by hand, with Finnwood 2.3 SR1-dimensioning software and AutoCAD-based drawing program. These instructions for the planned structures will be utilized in the future in connection with the renovation of a log house

Language

Finnish

Pages 35

Appendices 21

Pages of Appendices 103

Keywords

log structures, Limit State Method, coefficient of thermal transmittance (U-value)

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto.....	6
1.1	Työn taustat	6
1.2	Työn tavoite ja rajausta.....	7
2	Menetelmät.....	8
2.1	Hirsitalorakenteiden suunnittelun toteutus	8
2.1.1	Kantava välipohjapalkki.....	8
2.1.2	Rakennuksen ulkovaippa	10
2.2	Suunnitteluun käytettävät menetelmät ja työkalut	10
2.2.1	Laskentaohjelma	10
2.2.2	Piirto-ohjelma	11
3	Talon kuntotarkastus	13
3.1	Kuvaus kohteesta	13
3.1.1	Kellarikerros	13
3.1.2	Asuinkerros	14
3.1.3	Ullakkokerros	14
3.2	Asuutilassa havaitut rakennusvirheet	14
4	Korjattavien rakenteiden suunnittelu	16
4.1	Välipohjapalkki	16
4.1.1	Välipohjapalkin kuormituksen aiheuttamat voimasuureet.....	17
4.1.2	Välipohjapalkin mitoitus.....	18
4.1.3	Välipohjapalkin tuenta	21
4.1.4	Pilarit	21
4.2	Ulkovaipan eristäminen.....	22
4.2.1	Hirsiseinän tehollinen paksuus.....	23
4.2.2	Hirsiseinän ja välipohjan lisäeristäminen.....	25
4.2.3	Ulkovaipan rakenne ja sen suojaus	28
5	Tulokset.....	30
6	Tulosten tarkastelua	32
	Lähteet.....	34

Liitteet

Liite 1.	Välipohjapalkin rasitukset
Liite 2.	Välipohjapalkin mitoituslaskenta
Liite 3.	Välipohjapalkin mitoitus mitoitusohjelmalla
Liite 4.	Välipohjapalkin kannatinpalkki mitoitusohjelmalla
Liite 5.	Keskipilarin mitoituslaskenta
Liite 6.	Hirsiseinän tehollinen paksuus
Liite 7.	U-arvo ja ulkovaipan uusi rakenne
Liite 8.	Liimapuupalkin asennusohje
Liite 9.	Hirsirakenteinen ulkoseinä US2, uusi rakenne
Liite 10.	Välipohja YP1/VP3, uusi rakenne
Liite 11.	Perustuspiirustus

Liite 12.	Pohjapiirustus, kellarikerros
Liite 13.	Pohjapiirustus, ensimmäinen kerros
Liite 14.	Pohjapiirustus, vesikatto ja välipohjapalkisto
Liite 15.	Leikkaus A-A
Liite 16.	Leikkaus B-B
Liite 17.	Julkisivut
Liite 18.	Mittapiirustus, kellarikerros
Liite 19.	Mittapiirustus, ensimmäinen kerros
Liite 20.	Mittapiirustus, vesikatto ja välipohjapalkisto
Liite 21.	Leikkaus A-A, rakennetapaselostus

1 Johdanto

1.1 Työn taustat

Kiinteistökaupan yhteydessä myyjän on annettava ja ostajan on selvitettävä kaikki tiedot myynnissä olevan kiinteistön kunnosta. Lisäksi on selvitettävä, mitkä riskit myytävässä rakennuksessa on olemassa. Myös viranomaisilta on selvitettävä tai varmistettava kiinteistöön liittyvien dokumenttien täydellisyys ja todellisuus. Nämä asiat eivät ole ammattilaiselle vaikeita, mutta tavallinen kiinteistön ostaja voi helposti jättää huomioimatta jonkin tärkeän kohdan tarkistamisen ennen kaupantehtä.

Usein käy niin, että kiinteistö on jo ostettu, ja isot ongelmat, jotka liittyvät rakennuksen kuntoon, alkavat vähitellen paljastua uudelle omistajalle. Seuraavaksi kiinteistön omistaja ottaa yhteyttä kiinteistön myyjään selvittääkseen kiinteistökaupan hinnanalennusta tai jopa kaupanpurkua. Asia etenee riippuen asianosaisten sopimisen halukkuudesta. Tarpeen mukaan tilataan rakennuksen kuntotutkimus, jonka perusteella selvitetään kiinteistön korjaustoimenpiteiden tarve, laajuus ja hinta-arvio. Mikäli osapuolet eivät pääse sovinnolliseen ratkaisuun, asia etenee korjaustarpeen laajuudesta riippuen jopa tuomioistuimen ratkaistavaksi. Tämän jälkeen kiinteistön omistaja (myyjä tai ostaja), joutuu suunnittelemaan, mitkä korjaukset tulee tehdä ja miten ne toteutetaan.

Vuonna 2012 perhe osti hienon uudehkon pyöröhuirsitalon, jonka kunto oli esitetty hyvänä myyntiesitteessä ja esittelyhetkellä. Päällepäin silmämääräisesti tarkasteltuna talo näytti unelmatalolta, eikä mikään viitannut siihen, että talo pitää sisällään merkittäviä rakennusvirheitä ja puutteita. Kuitenkin vähän aikaa myöhemmin talossa alkoi paljastua ongelmia, jotka vaikuttavat asumismukavuuteen, -terveyteen ja -turvallisuuteen negatiivisesti. Uudet omistajat tilasivat Suomen Rakennusterveyspalvelut Oy:ltä huirsitalon kuntotarkastuksen, jonka seurauksena selvisi että kiinteistö vaatii merkittäviä ja nopeita korjaustoimenpiteitä.

1.2 Työn tavoite ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella hirsiomakotitalon ulkovaipan sekä välipohjan rakenteet niin, että ne vastaavat Suomen rakentamismääräysten vaatimuksia, ja ettei asukkaille aiheudu talossa asumisesta terveys-, ja turvallisuusriskejä. Työn tarkoituksena oli suunnitella ja laatia rakennuksen korjattavien kohteiden rakennepiirustukset, mitoituslaskelmat sekä rakenteiden korjausohjeet ja -selostukset. Suunnitelmassa selvitettiin, miten korjaukset tulee toteuttaa. Työhön ei kuulunut korjausrakennusaikaisten telineiden ja apuvälineiden suunnittelua. Varsinainen korjaustyö ei kuulu tämän opinnäytetyön piiriin. Korjaustyö tapahtuu myöhemmin ja lisäksi on mahdollista, että korjaussuunnitelma tulee muuttumaan, jos löytyy jokin muu ratkaisu vikakohteiden korjaamiseksi tai kohteessa paljastuu uusia rakennusvirheitä. Tarkoituksena oli säilyttää rakennuksen sisätilan ulkonäköä mahdollisimman alkuperäisenä.

2 Menetelmät

2.1 Hirsitalorakenteiden suunnittelun toteutus

Hirsitalon rakenteet suunniteltiin niin, että hirsitalon sisätilan ilme muuttuisi mahdollisimman vähän, mutta myös mahdollisuus laajentaa ullakolle olisi olemassa.

2.1.1 Kantava välipohjapalkki

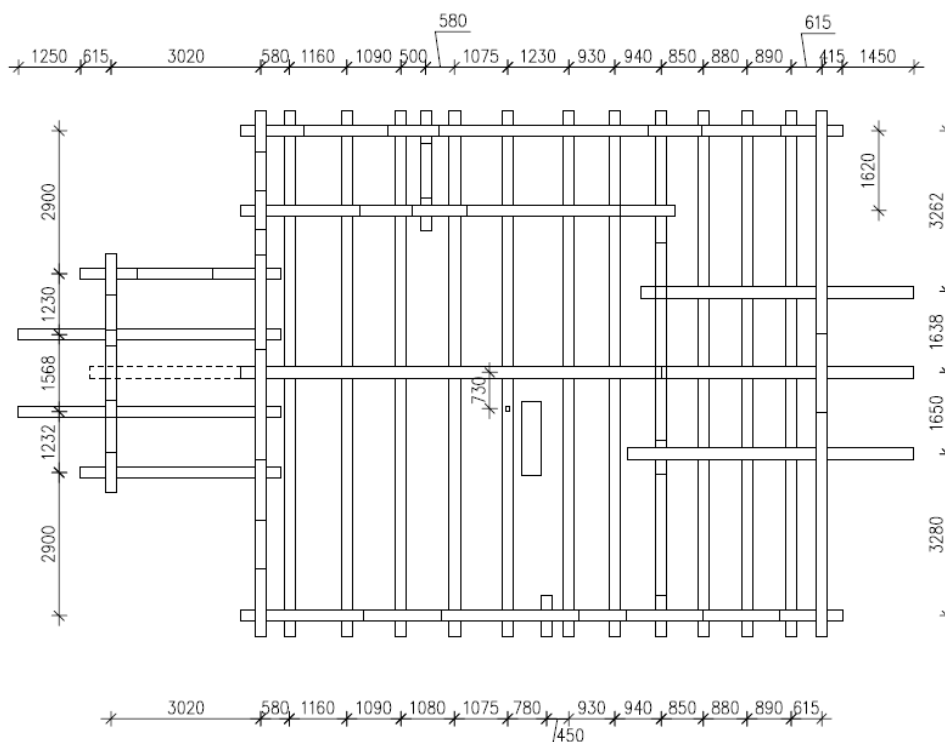
Tässä työssä välipohjapalkki sijaitsee asuinkerroksen ja käyttöullakon välissä. Piirustuksissa ja työssä käyttöullakon ja asuinkerroksen välistä rakennetta kutsutaan yläpohja ykköseksi / välipohja kolmoseksi ja merkitään YP1 / VP3.

Työssä joudutaan suunnittelemaan uusi kantava välipohjapalkki, koska kuntotarkastuksen yhteydessä on havaittu, että välipohjapalkki on alimitoitettu. Välipohjapalkin kapasiteetti ja käyttöaste, mm. taivutus- ja leikkauslujuudet sekä taipuma, on ylitetty osin jopa 450 % [15]. Välipohjapalkissa ilmenee näkyvä, voimakas taipuma, joka aiheutuu rakenteen kantavuuden alimitoituksesta ja joka on lisäksi kosmeettinen haitta.

Hirsitalorakennuksen uuden kantavan välipohjapalkin suunnittelu on tarkoitus tehdä nykyisen ratkaisun pohjalta. Alkuperäisen välipohjapalkin tilalle suunnitellaan uutta jatkuvaa liimapuupalkkia, joka kulkee koko talon läpi (kuva 1). Katkovii-va kuvassa tarkoittaa miten välipohjapalkki pitenee.

Liimapuupalkin valintaan vaikuttivat seuraavat asiat:

- jatkuvassa rakenteessa syntyvät jännitykset jakautuvat koko rakenteen pituudella
- liimapuupalkin taivutusjäykkyys on suurempi kuin samankorkuisen pyöröhirsistä valmistetun palkin
- pyöröhirsistä ei voida valmistaa kovin pitkiä umpinaisia ja katkeamattomia rakenteita kuten tässä työssä oleva välipohjapalkki



Kuva 1. Talon välipohjapalkisto. Vaakasunnassa keskellä on kantava välipohjapalkki, jossa on katkoviivalla merkitty, miten uusi kantava välipohjapalkki pitenee.

Nykyinen välipohjapalkki on selvittelyn mukaan koottu pyöröhirsistä ja jaettu niin, että olohuoneessa on oma palkki (kuva 2) ja makuuhuoneessa on toinen palkki joka jatkuu ulos talosta parvekkeen kannattajaksi (kuva 1). Kuntotarkastuksessa on selvinnyt, että välipohjapalkki on alimitoitettu. Jotta saataisiin pyöröhirsirakenteeseen välipohjapalkkiin lisää taivutusjäykkyyttä, jouduttaisiin kasvattamaan sen korkeutta, jonka seurauksena koko välipohjarakenteisiin tulisi tehdä isoja rakennemuutoksia, kuten kantavien hirsiseiniä korottamista. Tästä johtuen päädyttiin liimapuupalkkiratkaisuun, jossa välipohjapalkin korkeus kasvaa, mutta ei niin paljon, että jouduttaisiin vaihtamaan tai muuttamaan muita rakenteita olennaisesti. Lisäksi välipohjapalkki saadaan koko rakennuksen läpi yhtenä kokonaisuutena rakenteena, mikä jakaa siihen kohdistuneet rasitukset koko rakenteen pituudelle. Kyseistä rakennetta ei ole mahdollista toteuttaa pyöröhirsipalkkina.



Kuva 2. Nykyinen välipohjapalkki johon on ripustettu koristehirret.

2.1.2 Rakennuksen ulkovaippa

Kuntotarkastuksen yhteydessä tehdyssä rakennuksen tiiviysmittauksessa on todettu, että rakennuksen tiiviydessä asuinkerroksen ulkoseinissä ja yläpohjassa on puutteita, jotka johtuvat rakennuksen ulkovaipan rakenteiden heikosta laadusta. Epätiiviyyttä on havaittu ulkoseinä- ja yläpohjarakenteessa sekä ovien ja ikkunoiden liitoksissa. Ulkoseinien tiiviyden korjaus kiristystankojen kiristämällä ei enää onnistu, mikä aiheuttaa osaltaan hirsien rakoilua. [16]

Talon asuintilan hirsiseinään ja kattorakenteisiin suunniteltiin lisälämpöeristystä ja tiivistystä. Seinän lisälämpöeristyksen suunnittelu toteutettiin ulkoseinän ulkopinnalle.

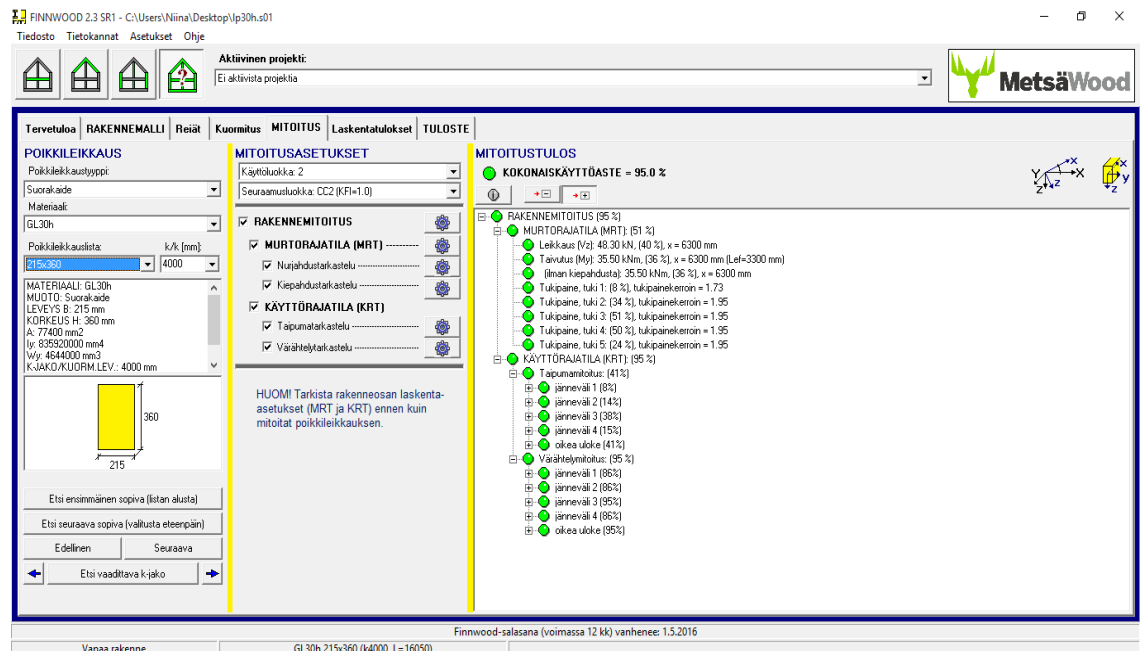
2.2 Suunnitteluun käytettävät menetelmät ja työkalut

Rakenteiden suunnittelulaskelmat ja piirustukset toteutetaan sekä käsin että tietokoneavusteisesti. Kantavien puurakenteiden suunnittelu toteutetaan Eurokoodi 5:n perusteella.

2.2.1 MetsäWoodin laskentaohjelma

Kantavien rakenteiden suunnittelutöissä on käytetty MetsäWoodin puurakenteiden suunnitteluohjelmaa (kuva 3) "FINNWOOD 2.3 SR1" sen selkeyden ja help-

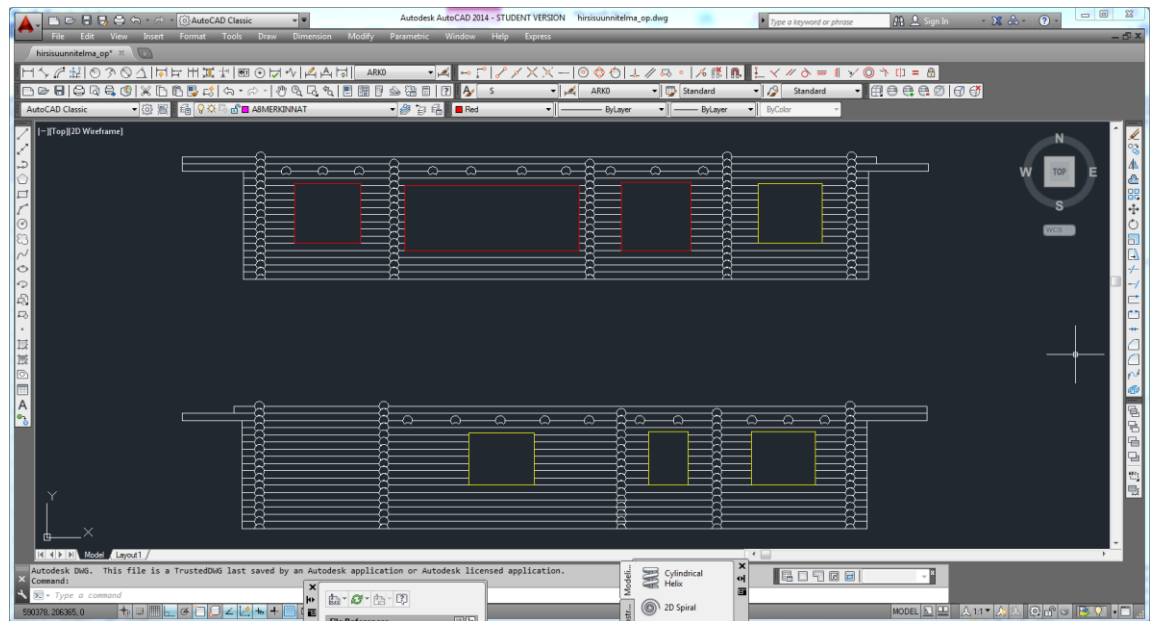
pokäyttöisyyden vuoksi. Ohjelma suorittaa mitoitus EN 1995-1-1:2004+A1:2008 / RIL 205-1-2009:n mukaisesti. Tämän ohjelman valintaa puolsi toisaalta se, että ohjelma on ilmainen ja vapaasti ladattavissa omaan tietokoneeseen sekä se, että ohjelmalle on tehty hyvä ohjekirja. Ohjelman tietokanta sisältää MetsäWoodin tuotteet ja niiden lujuusominaisuudet, joten lujuusarvoja ei tarvitse syöttää itse. Ohjelman tietokantaan on myös mahdollisuus lisätä oma puutavara syöttämällä sen poikkileikkaus tarvittavaan lujuusluokkaan. Ohjelma ottaa huomioon rakenteiden omapainon automaattisesti, näin ollen ei tarvitse laskea mitoittavien palkkien omapainoa. Suurin positiivinen asia ohjelmalla on, että laskelmista voidaan tulostaa selkeitä ja helposti luettavasti mitoitusraportit.



Kuva 3. FinnWood mitoitusohjelman käyttöliittymän mitoitus-välilehti.

2.2.2 Piirto-ohjelma

Rakenteiden piirustukset toteutettiin AutoCAD-ohjelmalla (kuva 4). AutoCAD on valittu, koska tämä on tuttu ohjelma ennestään. Ohjelmassa on paljon hyödyllisiä ominaisuuksia. Kuvien ja niiden osien kopiointi onnistuu helposti ja on myös mahdollista tallettaa tiedostoja pdf-muotoon.



Kuva 4. AutoCAD suunnitteluohjelman käyttöliittymä.

3 Talon kuntotarkastus

Olennaista rakennusosalalla on, että kaikki suunniteltavat ja rakennettavat rakennukset ja rakenteet ovat tarpeeksi lujia ja kestävät ympäristön aiheuttamat rasitukset eivätkä aiheuta hengen- tai terveyden vaaraa niiden käyttäjille. Suomen rakennusmääräyskokoelmassa sanotaan, että ”Rakennuksen lujuuden ja vakauden kannalta tämä erityisesti tarkoittaa sitä, että rakentamisen ja käytön aikana rakennukseen todennäköisesti kohdistuvat kuormitukset eivät johda mihinkään seuraavista:

- koko rakennuskohteen tai sen osan sortumiseen
- niin suuriin muodonmuutoksiin, että niitä voidaan sallia
- rakennuskohteen muiden osien tai siihen asennettujen laitteiden ja kiinteiden varusteiden vaurioitumiseen kantavissa rakenteissa tapahtuneiden suurten muodonmuutosten seurauksena
- ulkopuolisen tekijän aiheuttamaan vaurioon, joka on suhteeton sen aiheuttajaan verrattuna” [7, s. 2].

3.1 Kuvaus kohteesta

Rakennus on peltomaisella rinnetontilla sijaitseva 2,5- kerroksinen talo, jossa kellarikerroksessa sijaitsevat tekniset tilat, sauna ja puuvarasto. Asuintila sijaitsee toisessa kerroksessa ja kolmannessa kerroksessa on käyttöullakko. Pääsisäänkäynti sijaitsee asuinkerroksessa talon päädyssä. Ullakolle pääsee sekä asuinkerroksen eteisestä, että talon takapäädyssä olevien portaiden kautta. Kellarikerroksen sisäänkäynnit sijaitsevat asuinkerroksen olohuoneessa ja ulkona rakennuksen takapihalla.

3.1.1 Kellarikerros

Talo on rakennettu saviselle tontille. Lupapiirustuksien mukaan perustuksen anturan alapuolella on suodatinkangas, jonka päälle on laitettu 200 mm:n salaojasorakerros. Antura on paikalla valettu ja se on kooltaan 600x200 mm². Anturan päälle on rakennettu kellarikerroksen seinät 350 mm:n paksuisista lämpöharkoista. En-

simmäinen harkkavarvi on tehty umpinaisesta harkosta. Kellarikerroksen lattia on paikalla valettu 100 mm:n teräsbetoni-laatta, jonka alapuolella on 200 mm EPS-lämpöeristettä. Välipohja kellarikerroksen ja asuintilan välissä on paikalla valettu teräsbetoni-holvi, jonka päälle on laitettu lämpöeristevilla ja tehty puulattia.

3.1.2 Asuinkerros

Asuinkerroksen ulkoseinät on rakennettu pyöreästä massiivihirrestä, jonka halkaisija on 225 mm. Ullakon ja asuinkerroksen välissä oleva välipohja on rakennettu niin, että talon keskilinjalla ja pitkillä ulkoseinillä sijaitsevat kantavat rakenteet, joiden päällä kannetaan katolta ja käyttöullakolta tulevat kuormat. Talon keskilinjalla sijaitsevalle palkille on ripustettu välipohjan rakenteet (kuva 2). Yläpohjan ullakon hyötykuorma välittyy välipohjapalkin yläpinnalle NR-ristikoiden alapaarteiden kautta. Välipohjarakenteet ovat koristehirret halkaisijaltaan 225 mm, puupaneelit 30+30 mm, lämpöeristevilla 400 mm, lämpöeristevillassa sijaitsevat NR-ristikoiden alapaarteet, ilmasulkupaperi ja lattialankut.

3.1.3 Ullakkokerros

Ullakkokerroksen lattiarakenteet on esitetty edellä asuinkerrososassa. Ullakkokerroksen lattiarakenteet ovat samaa rakennetta kuin asuinkerroksen ja ullakkokerroksen välipohja. Ullakon rakenteet, yläpohja ja vesikatto on toteutettu niin, että NR-ristikoiden päälle on asennettu aluskate, tämän päälle on tehty koolaus 20 x 100 mm² sahatavarasta, jonka päälle on asennettu tiilikuvioinen peltikate.

3.2 Asuintilassa havaitut rakennusvirheet

Tässä työssä käsitellään vain asuintilassa ja ullakossa havaitut rakennusvirheet johtuen siitä, että kellarikerroksen ongelmien laajuudesta ei ollut vielä tarkkaa tietoa ja jonka vuoksi ei voitu vielä suunnitella korjaustoimenpiteitä täydellisesti. Asuinkerroksen ulkovaippa on epätiivis, tämän takia talon energiankulutus on erittäin korkea. Hirsiseinän hirsien väliset saumat ja seinien nurkkaukset eivät ole tiiviitä. Lämpöeristeet hirsien välissä ovat puutteelliset. Hirsiseinien salvosten kiris-

täminen oli laiminlyöty, jonka seurauksena seinien hirret ovat muuttaneet muotonsa ja niiden kiristäminen tällä hetkellä on joiltakin osin mahdotonta. Asuinrakennuksen välipohjassa oli havaittu isoja ilmavuotoja jotka aiheutuivat epätiivien rakenteiden johdosta, ilmansulkupaperi on asennettu puutteellisesti, katossa on paikkoja joista lämpöeriste putoaa asuinkerroksen lattialle. Asuinkerroksen epätiivisyys aiheutti myös homekasvustoa välipohjarakenteessa (kuva 5).



Kuva 5. Homekasvusto välipohjarakenteessa.

Talossa on tehty ulkovaipan ilmantiiveysmittaus ja lämpökuvaukset keväällä 2013. Mittaukset suoritti Mari Hälinen Oy. Mittauksista on tehty raportti, josta selviää, että talon ilmanvuotoluku q_{50} on $10,9 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ ja n_{50} on $11,4 \text{ 1/h}$. Talo on valmistunut vuonna 2009, tuolloin voimassa olevien rakentamismääräysten D3-osan mukaan rakennuksen tiiveyden osalta vertailuarvona käytettiin $4,0 \text{ 1/h}$. Rakennuksen tiiviysluvun arvoksi suositeltiin kuitenkin arvoa joka on lähellä $1,0 \text{ 1/h}$. Talon rakennusaikaiset rakentamismääräykset eivät kuitenkaan asettaneet ylärajaa rakennuksen ilmatiiviysluvulle. [14]. Nykyisten rakentamismääräysten D3-osan mukaan ilmanvuotoluku q_{50} ei saa ylittää arvoa $4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$. [10]

Ullakon ja asuintilan välipohjarakenteissa on myös havaittu kantavien rakenteiden alimitoitusta. Kantavan välipohjapalkin kapasiteetti ja käyttöaste on ylitetty, mm. taivutus- ja leikkauslujuudet ja taipuma on ylitetty. [15, 16]

4 Korjattavien rakenteiden suunnittelu

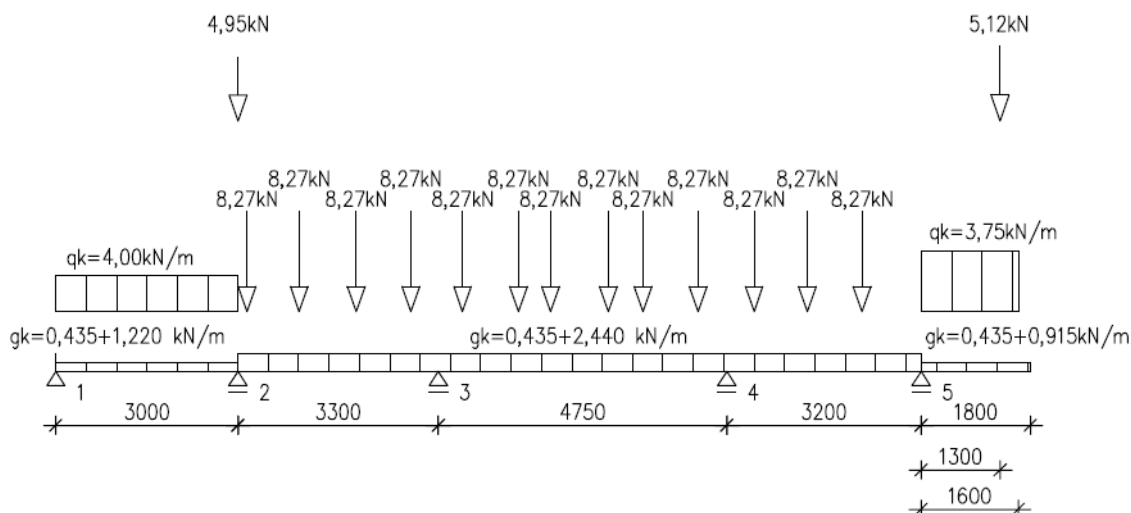
Työ alkoi syksyllä 2014, kun talon omistajat päättivät tehdä suunnitelman mahdollisesti tulevasta talon korjausremontista. Projektin aikataulu ei ollut tarkka, koska talosta oli menossa oikeusprosessi jonka päämääränä oli talokaupan purku, joten työn takarajana oli oikeudenkäynnin päätyminen ja talon lopullinen kuntoarvio.

Kantavat rakenteet suunniteltiin niin, että ne eivät aiheuta rakennuksen tai sen osan sortumisvaaraa. Rakenteiden mitoitus suoritettiin rajatilamenetelmällä, jota voidaan käyttää valmiiksi tehdylle ja kuormitetulle rakennemallille. [2]

Talon lämmöneristäminen ja tiivistäminen suunniteltiin niin, että talossa ei tapahdu hallitsematonta ilmanvuotoa eikä haitallista kosteuden tiivistymistä talon rakenteisiin.

4.1 Välipohjapalkki

Uusi suunniteltava välipohjapalkki erottuu tämän hetkisestä niin, että se asennetaan koko talon läpi. Uusi palkki on rakenteeltaan liimapuupalkki. Tämä mahdollistaa palkin asentamisen kokonaisena ehjänä rakenteena rakennuksen läpi. Palkin asennusohje on esitetty liitteessä 8. Vanhaan palkkiin nähden uudessa on muutettu tuentapisteet ja tuentatapa. Palkki tulee olemaan neliaukkoinen jatkuva palkki, jossa on uloke. Alempana on esitetty uuden välipohjapalkin rakennemalli, jossa on kaikki mahdolliset kuormat mukana (kuva 6).



Kuva 6. Välipohjapalkin kuormitusmalli. Kuvassa näkyy seuraavat kuormat: piste-kuormat 4,95 kN ja 5,12 kN ovat lumikuormat, jotka siirtyvät katolta kantavalle välipohjapalkille. 8,27 kN-nimiset pistekuormat ovat NR-ristikoilta välipohjapalkille siirtyvät kuormat. Tasaisia hyötykuormia ovat q_k -nimiset tasaiset viivakuormat. Välipohjapalkin ja välipohjan omapainokuormat tasaisena viivakuormana on merkitty nimellä g_k .

Välipohjapalkin rakenne muutettiin jatkuvaksi, koska kaikki jatkuvassa rakenteessa syntyvät jännitykset jakautuvat koko rakenteelle, tällöin tapahtuu niiden keveneminen. Myös saman kuorman aiheuttamat taipumat ovat jatkuvassa palkissa pienemmät kuin yksiaukkoisessa palkissa. [6]

Piirustuksissa leikkaus A-A ja leikkaus B-B (Liitteet 15, 16) on esitetty välipohjapalkki talon välipohjarakenteessa. Kuvista näkee miten kuormat siirtyvät käyttöulakon rakenteista välipohjapalkille.

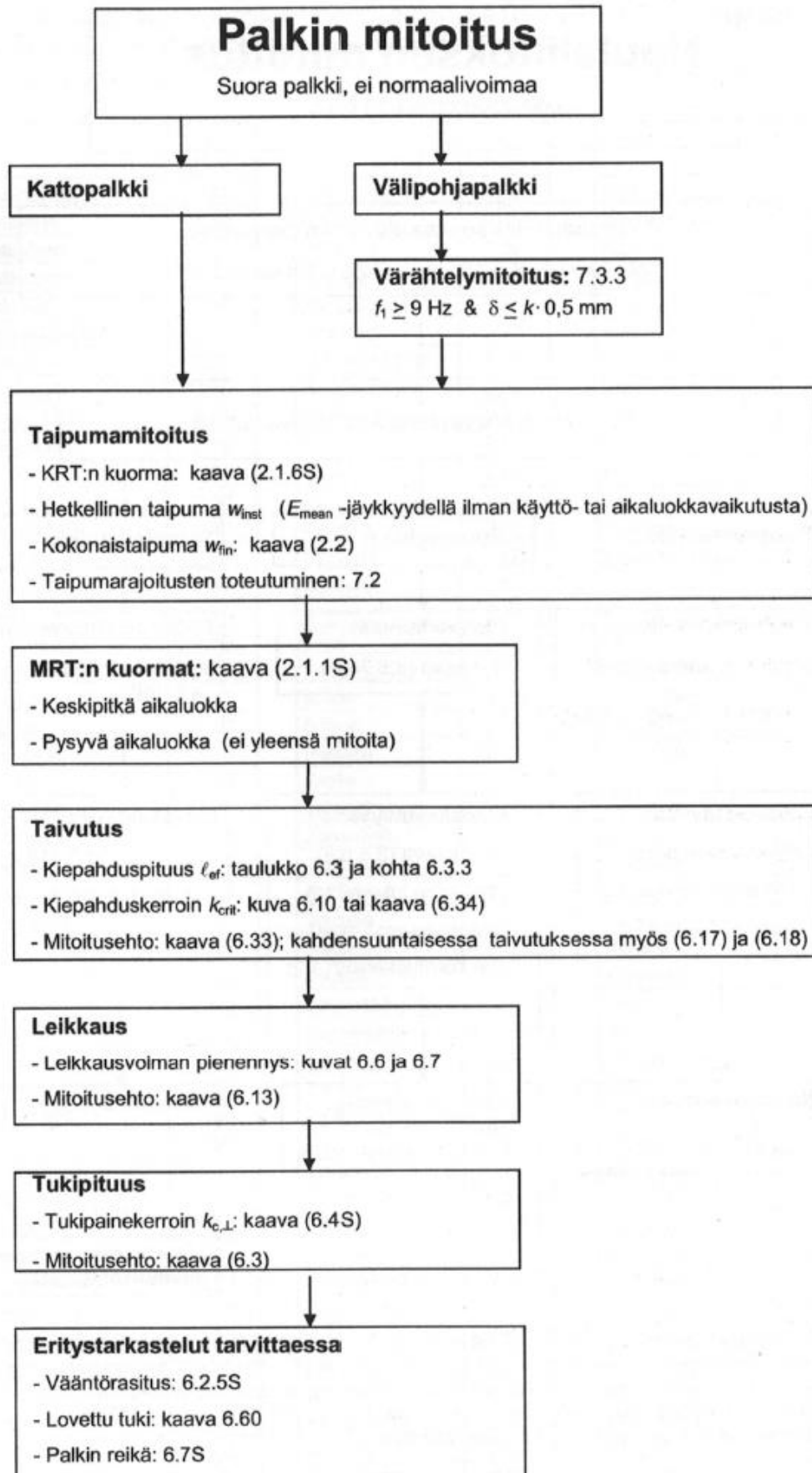
4.1.1 Välipohjapalkin kuormituksen aiheuttamat voimasuureet

Välipohjapalkin mitoitus varten poimittiin tietoja sitä rasittavista ominaiskuormien arvoista, palkin ominaislujuusarvoista ja sen fyysisistä mitoista. Kuormitusarvot poimittiin talon alkuperäisistä rakennussuunnittelupapereista ja tarkistettiin niiden oikeellisuus, mm. pienimmät sallitut hyötykuorman ominaisarvot yhtä neliömetriä kohti, laskettiin myös välipohjapalkille aiheutuva lumikuormitus (ks. liite 1). Käsien laskentaa varten välipohjapalkin pistekuormat muutettiin tasaiseksi kuormaksi. Tämän jälkeen suoritettiin laskelmat jatkuvaan palkkiin syntyvistä rasituksista erilaisissa kuormitustapauksissa. Vuoronperään kuormat sijoitettiin palkille niin että

tietty tuki tai sauva saa mahdollisimman suuren rasituksen, näin tehtiin neljälle tuelle ja eniten kuormitetulle sauvalle. Saaduista tuloksista valittiin taivutusmomentin ja leikkausvoiman maksimi-arvot sekä suurin tukipaineen arvo välipohjapalkin mitoitus varten. Laskennan kulku löytyy liitteestä 1 ja arvot liitteen 1 taulukoista 20 ja 21.

4.1.2 Välipohjapalkin mitoitus

Välipohjapalkin mitoitus suoritettiin kahdella tavalla, käsin laskennalla (liite 2) ja ”FinnWood 2.3 SR1”-ohjelmalla (liite 3). Tämä tehtiin mitoitus tulosten varmistamiseksi. Mitoitus suoritettiin rajatilamenetelmällä. Rakenteen kestävyys ja tasapaino tarkistettiin aikaluokittain, pysyvässä ja keskipitkässä aikaluokassa. Käsin laskenta suoritettiin alla esitetyn kaavion mukaan (kuva 7), koska palkissa ei esiinny normaalivoimaa. Erityistarkastelua tässä välipohjapalkin mitoituksessa ei tarvita.



Kuva 7. Välipohjapalkin mitoituskaavio. [12, s. 251]

Liitteessä 2 on esitetty mitoituksen laskelmat, joissa käytetään liitteen 1 laskelman tuloksia hyväksi. Palkin kuormien esikäsittely poikkeaa tavallisesta mitoituslaskelmasta niin, että liitteessä 2 käsitellään jo valmiiksi lasketut viivakuormat.

Rakenteiden kestävyyttä mitoitetaan kuormitusluokkien mitoitusarvoilla, jotka lasketaan kaavoilla [12, s. 190]:

- pysyvässä aikaluokassa

$$1,35G_{k,j} \quad (1)$$

jossa:

$G_{k,j}$ on pysyvän (rakenteiden omapaino) kuorman paino

- keskipitkässä aikaluokassa

$$1,15G_{k,j} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} \quad (2)$$

jossa:

$Q_{k,1}$ on lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista suurempi

$Q_{k,2}$ on lumi- ja hyötykuorman ominaisarvoista pienempi

Luotettavuusluokan kuormakerroin $K_{FI}=1,0$ ja se on otettu huomioon kaavoissa 1 ja 2. Seuraamusluokkien määrittely ja luotettavuusluokan kertoimet löytyvät taulukosta 2.0S. [2]. Edellä mainituilla kaavoilla lasketaan rakenteeseen kohdistuvat voimasuureet murtorajatilassa. Näillä arvoilla mitoitetaan taivutus- ja leikkausrasitusten kestävyyttä.

Välipohjapalkin taipumaa mitoittaessa käytetään kuormien ominaisarvoja. Taipuma- ja värähtelymitoitus suoritetaan käyttörajatilassa. Välipohjapalkin mitoituksessa on otettava huomioon välipohjan värähtely. Lattian alin ominaistajuus ei saa alittaa arvoa 9 Hz. Välipohjaa mitoittaessa on myös tarkasteltava 1kN:n piste-kuorman aiheuttama taipuma. [11].

4.1.3 Välipohjapalkin tuenta

Välipohjapalkki tukeutuu ulkoseiniin siten että palkin päät läpäisevät hirsirakenteiset ulkoseinät. Palkki nojautuu ehjien hirsikehikon hirsien päälle, jotka jäävät välipohjapalkin alapuolelle (kuva 1). Ongelmaksi muodostuu palkin tukipisteiden paikat, jotka osuvat ovi- ja ikkuna-aukkojen kohdille. Tämän takia jouduttiin tekemään mitoitus myös välipohjapalkkia kantaville palkeille (liite 4). Mitoitus tehdään FinnWood-mitoitusohjelmalla.

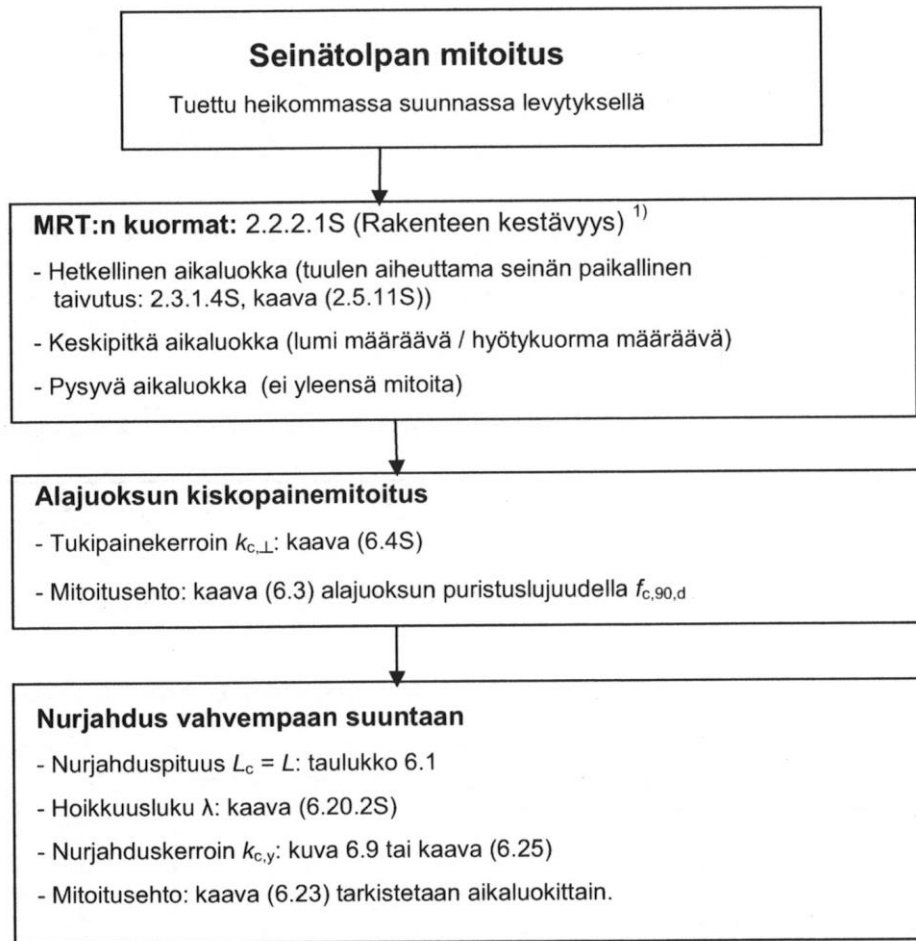
Keskellä asuinkerrosta palkkia joudutaan tukemaan pilareilla pitkän jännevälin johdosta. Pitkä välipohjan jänneväli aiheuttaa välipohjan paksuuden kasvua, jonka vuoksi rakennukseen jouduttaisiin tekemään isoja muutoksia.

4.1.4 Pilarit

Välipohjapalkin tukipilarit sijoitetaan asuinkerroksen olohuoneen sekä olohuoneen ja makuuhuoneen väliseinärakenteisiin. Pilareiden alapää tukeutuvat kellarikerroksen kantaviin väliseiniin, kuten rakenteen leikkauskuvassa voi nähdä (liite 16).

Pilarin mitoitus suoritettiin käsin laskentana (liite 5). Kuvassa 8 on esitetty kaavio, jonka mukaan mitoitus suoritettiin.

Pilari on puristusrasitettu ja molemmissa päissä on nivelkiinnitykset. Taivutuskuormitusta ei esiinny, joten mitoitus suoritettiin puristetulle sauvalle. Pilaria ylimitoitettiin johtuen esteettisistä syistä, että rakenne ei näyttäisi heikolta. Kiskopainetta ei laskennassa huomioitu, koska pilari tukeutuu betonilaatan kautta alakertaan kantavalle väliseinälle.



Kuva 8. Pilarin mitoituksen kaavio. [12, s. 250]

4.2 Ulkovaipan eristäminen

Rakennuksen ulkovaipan lisälämpöeristämisen ja sen tiivistämisen yhteydessä on otettava huomioon ulkovaipan rakenne ja materiaalit joista se on rakennettu. On tärkeää tietää miten rakenne toimii kosteusteknisesti korjauksien jälkeen. Pieni virhe suunnittelussa tai rakenteen toteutuksessa voi aiheuttaa ison vahingon asukkaiden terveydelle ja rakennuksen kunnolle.

On havaittu, että rakennuksen oleskelutilan kosteudenpitoisuudella ja lämpötilalla on suuri vaikutus moniin rakennuksen parametreihin ja tilan käyttäjiin. Tutkimusten perusteella on todettu, että massiivisilla hygroskooppisilla rakenteilla, kuten hirsirakenteilla, voidaan olennaisesti vaikuttaa sisätilan sisäilmaan, koska massiivisella puurakenteella on mahdollista rakentaa merkittävä kosteuden puskurivaikutus. [13] Hirsirakenteisessa talossa ei suositella ulkovaipan lämpöeristämistä

sisältäpäin, koska tällöin syntyy riskirakenne. Sisältäpäin (lämpimältä puolelta) eristetyssä rakenteessa voi syntyä kastepiste. Tämän takia rakenteessa joudutaan käyttämään höyrysulkumuovia. Kosteuden läpäisevyyden kannalta oikea rakenteen periaate on, että rakennuksen sisältä katsottuna sen vesihöyrytiiveys on sisäpinnalla noin viisinkertainen ulkopinnan vesihöyrytiiveyteen nähden. [6]

Rakennuksen ulkovaipan lisäeristysten suunnittelu toteutettiin rakennusmääräysvaatimusten mukaisesti. Suunniteltaessa rakennuksen ulkovaippaa, noudatettiin vaatimuksia ja ohjeita suurimmasta sallitusta lämmönläpäisykertoimesta ja ilman tiiveydestä rakennuksen ulkovaipassa. Otettiin huomioon myös rakennusmateriaalien käyttäytyminen pitkäaikaisessa käytössä. Rakenteet pyrittiin suunnittelemaan ja toteuttamaan niin, että niihin vaikuttava kosteusrasitus ei aiheuta rakenteiden materiaalien lahoamista ja homehtumista. [13]

4.2.1 Hirsiseinän tehollinen paksuus

Talon asuinkerroksen seinät on rakennettu pyöreästä massiivihirrestä, jonka paksuus on 225 mm. Sauman kohdalla seinän paksuus on 145 mm. Rakennusmääräyskokoelman osan D3 mukaan lämpimän rakennuksen hirsiseinän keskimääräinen paksuus ei saa olla alle 180 mm. Tästä johtuen jouduttiin laskemaan pyörö-hirsiseinän tehollinen paksuus. [10] Seinän tehollinen paksuus laskettiin käsin. Liitteessä 6 on esitetty laskelmat.

Hirsiseinän tehollinen paksuus määritettiin U-arvon laskentaa varten. Tehollista paksuutta määritettäessä hirsissä olevia halkeamia ei huomioitu, koska tutkimusten mukaan ne eivät vaikuta U-arvon määrittämiseen. Hirsiseinän tehollisen määrittämisen periaate on esitetty kuvassa 9. Hirsiseinän tehollisen paksuuden määrittäminen suoritettiin seuraavia laskentakaavoja apuna käyttäen:

- hirren pinta-ala A

$$A = \frac{R^2}{2} * \left(\frac{\alpha}{180^\circ} * \pi - \sin\alpha \right) \quad (3)$$

$$\alpha = 4 * \arctan\left(\frac{2*d}{h}\right) \quad (4)$$

joissa:

R on hirren halkaisija

α on hirren seinässä näkyvän osan ala- ja yläreunojen välinen kulma
hirren keskipistettä nähden

d on hirren yhden pyöristetyn sivun paksuus hirsien välisestä saumasta hirren ulompaan sivupisteeseen

h on hirren seinässä näkyvän osan korkeus

- hirren pyöristetyn sivun paksuus d_2 , kun se on muunnettu suorakaidemuotoiseksi

$$d_2 = \frac{A}{h} \quad (5)$$

jossa:

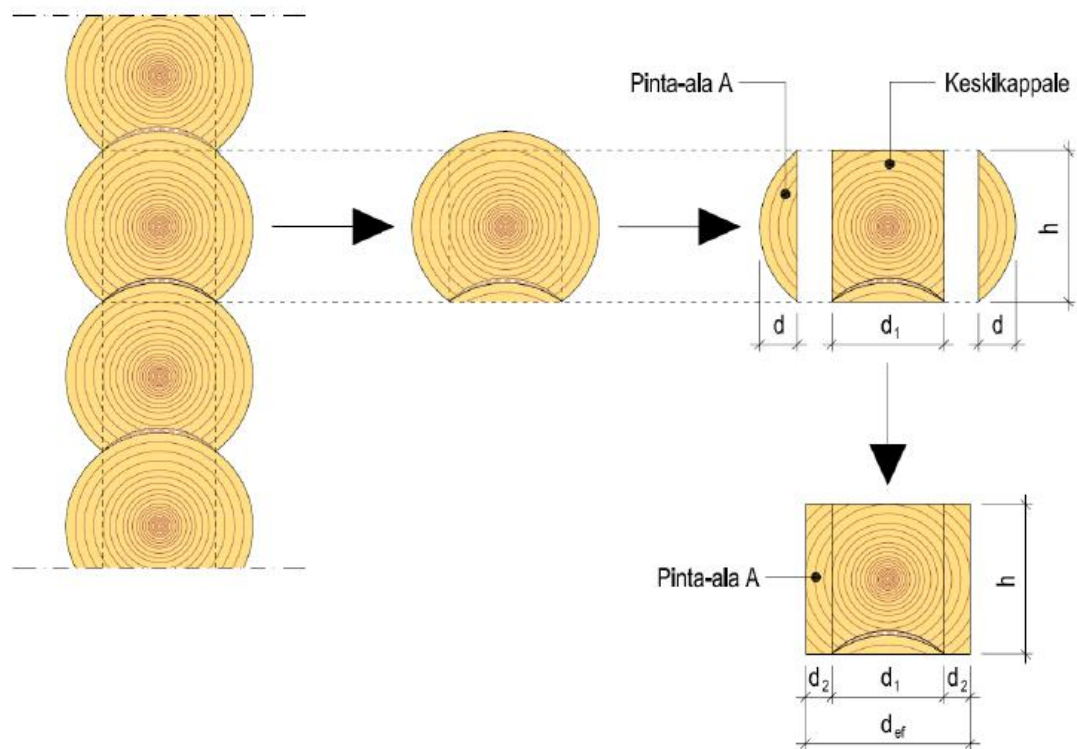
d_2 on hirren pyöristetyn sivun muunnettu paksuus (kuva 8)

- hirsiseinän tehollinen paksuus d_{ef} U-arvon määrittämistä varten

$$d_{ef} = d_1 + 2 * d_2 \quad (6)$$

jossa:

d_1 on hirren asennusuran leveys (kuva 9)



Kuva 9. Pyöröhirsiseinän tehollisen paksuuden määrittämisen periaate. [5, s. 2.]

4.2.2 Hirsiseinän ja välipohjan lisäeristäminen

Nykyisten rakentamismääräysten D3-osan mukaan lämpimän rakennustilan ulkovaipan lämmönläpäisykertoimen U -arvot eivät saa ylittää alla esitettyjä arvoja:

- seinä $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- hirsiseinä $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Aluksi selvitettiin ulkoseinän ja välipohjan nykyinen U -arvo laskemalla, tämän jälkeen laskettiin lisäeristämisen tarve. Asuinkerroksen alapohjarakenteen U -arvoa ei tarvinnut selvittää, koska alakerroksessa on lämmin tila. Lämmönläpäisykertoimen U -arvot ovat laskettuna liitteessä 7.

Rakenteiden U -arvo laskettiin rakentamismääräysten C4-osan mukaan seuraavasti:

- jokaiselle rakenteen ainekerrokselle määritettiin lämmönvastuksen R , laskettiin kaavalla:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (7)$$

jossa:

R_i on rakenteen lämmönjohtavuus ($\text{m}^2\text{K/W}$)

d_i on rakenteen paksuus

λ_i on rakennemateriaalin lämmönjohtavuus (W/mK)

- laskettiin rakenteen kokonaislämmönvastuksen R_T seuraavasti, jos ainekerrokset ovat tasapaksuja ja tasa-aineisia:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (8)$$

jossa:

R_T on rakenteen kokonaislämmönvastus

R_{si} on rakenteen sisäpinnan lämmönvastus

R_{se} on rakenteen ulkopinnan lämmönvastus

R_1, R_2, \dots, R_n ovat tasapaksujen ja tasa-aineisten aineiden lämmönvastukset

Todellisuudessa rakennusten ulkovaippojen rakenteet usein eroavat toisistaan. Osa rakenteista sisältää tasapaksuja ja tasa-aineisia rakennekerroksia (lämpöharkko tai metallisandwich-paneeli), toiset ovat epätasa-aineisia kuten puutalon seinä, jossa runkotolpat sijaitsevat lämpöeristeiden sisällä. Erilaisten materiaalien lämmönvastusarvot epätasa-aineisessa kerroksessa eroavat toisistaan, mistä johtuen tämän rakennekerroksen lämmönvastus jouduttiin laskemaan kaavalla 10. Tässä työssä laskettiin hirsiseinän ja sen päälle asennettavaksi tulevan epätasa-aineisen lisälämpöeristekerroksen lämmönvastus siksi että pystyttäisiin määrittämään rakenteen kokonaislämmönvastus.

- epätasa-aineisen rakenteen lämmönvastus määritetään seuraavasti jos kerroksessa vierekkäisten aineiden lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot eivät poikkea toinen toisistaan enemmän kuin 5-kertaisesti:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_n}{R_{nj}} \quad (9)$$

jossa:

R_j on epätasa-aineisen kerroksen lämpövastus

$R_{aj}, R_{bj}, \dots, R_{nj}$ ovat epätasa-aineisen j-kerroksen alueiden a,b,...n lämmönvastukset

f_a, f_b, \dots, f_n ovat epätasa-aineisen ainekerroksen tasa-aineisten osa-alueiden suhteelliset osuudet ainekerroksen kokonaispinta-alaan

- rakenteen jossa on epätasa-aineisia ainekerroksia kokonaislämmönvastus R_T , lasketaan seuraavasti:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + \sum R + R_{se} \quad (10)$$

jossa:

$\sum R$ on tasa-aineisten kerrosten, ilmakerrosten, ohuiden ainekerrosten ja maan lämmönvastusten

R_1, R_2, \dots, R_n on epätasa-aineisten kerrosten lämmönvastukset laskettuna kaavalla (9)

R_{si} on rakenteen sisäpinnan lämmönvastus

R_{se} on rakenteen ulkopinnan lämmönvastus

Lopuksi määritettiin lämmönläpäisykertoimen U. ” Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen.” [9, s. 2].

- lämmönläpäisykertoimen U-arvo lasketaan seuraavasti:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (11)$$

jossa:

R_T on rakenteen kokonaislämmönvastus

4.2.3 Ulkovaipan rakenne ja sen suojaus

Kaikki rakennukset tarvitsevat suojauksen ulkoisia rasituksia vastaan. Rasitukset ovat auringon aiheuttama UV-säteily, kosteus ja lämpötilavaihtelut, jotka aiheuttavat rakenteiden lahoamista ja erilaista mikrobikasvustoa rakennuksiin, jos suunnittelu tai toteutus on tehty väärin.

Hirsirakenteinen seinä vaatii monimutkaista suojausta. Sillä pyritään säilyttämään hirsiseinän puumateriaalin esteettiset ja rakenteelliset ominaisuudet. On olemassa erilaisia suojausmenetelmiä, joita voidaan jakaa kolmeen tyyppiin:

- rakenteellinen suojaus
- kemiallinen suojaus
- pinnoitus

Parhaan suojauksen saavuttamiseksi yleensä käytetään edellä mainittujen suojaustyyppien yhdistelmää. [13]

Asuinkerroksen ulkoseinät joudutaan lisäeristämään ulkopuolelta. Hirsiseinien ulkopinta on puhdistettava huolellisesti, ettei rakenteisiin jää haitallisia eliöitä ja mikrobeja jotka hajottavat rakenteita. Lämpöeristettävä pinta käsitteellään desinfiointiaineella, rakenteen suojausta varten tehdään puumateriaalin pinta elinkelvottomaksi ympäristöksi. Kemiallisen suojauksen lisäksi seinään tehdään rakenteellinen suojaus, joten hirsiseinän ulkopintaa ei tarvitse maalata tai pinnoittaa erilaisilla pinnoitusaineilla, koska se jää eristerakenteiden sisään. Lisäeristetty seinä paneloidaan puupaneeleilla. Seinän verhouksessa järjestetään tuuletusaukkoja, ettei rakennuksesta poistuva kosteus tiivisty verhouksen sisäpinnalle. Rakennepiirustuksessa (liite 9) on esitetty toteutettava rakenne.

Välipohjarakenteet puretaan ja asennetaan ilmansulkupaperi niin, että välipohjarakenteisiin ei jää yhtään aukkoa, jonka kautta ilma pääsee vapaasti kulkemaan rakenteiden läpi. Lämpöeristettä asennetaan niin paksusti, että rakentamismäärä-

ysten vaatimukset täyttyvät. Välipohjan lämpöläpäisykerroin ja tarvittavan lämpöeristeen tarve laskettiin liitteessä 7. Välipohjan rakenne on esitetty liitteessä 10.

5 Tulokset

Työn tuloksena on saatu suunnitelmat hirsirakenteisen omakotitalon asuinkerroksen uusista kantavista rakenteista sekä ulkovaipan lisälämmöneristämisestä.

Talon ulkoseinät ja osa väliseinistä toimii kantavina rakenteina. Talon asuinkerroksessa näkyvä välipohjapalkki kulkee koko talon läpi. Välipohjapalkki toimii kantavana rakenteena. Se kantaa käyttöullakolta sille siirtyvät kuormat, kuten hyöty- ja lumikuorman sekä rakenteiden oman painon. Vuorostaan välipohjapalkki siirtää kuormat kantaville ulko- ja väliseinille sekä pilareille, jotka edelleen siirtävät kuormat alakerroksessa oleville kantaville seinille ja lopuksi maahan. Suunnittelussa toteutin liimapuurakenteisen välipohjapalkin rakenteen. Tällöin sain rakenteeseen jatkuvuuden, jonka ansiosta rakenteissa syntyvät jännitykset jakautuvat koko rakenteen pituudelle (liitteet 14–16).

Kantava välipohjapalkki suunniteltiin toteutettavaksi GL30c 215 x 405 mm² tai GL30h 215 x 360 mm² liimapuupalkilla. Piirustuksissa on kuitenkin valittu GL30h 215 x 360 mm² liimapuupalkki (liitteet 15–16).

Välipohjapalkin mitoituksen mukaan kokonaiskäyttöaste käsinlaskelmissa GL30c mitoiltaan 215 x 405 mm² on 81,5 % ja GL30h mitoiltaan 215 x 360 mm² on kokonaiskäyttöaste 94,8 %. Mitoitusohjelmalla mitoitettuna kokonaiskäyttöaste palkille GL30h mitoiltaan 215 x 360 mm² on 95 % (Liite 3). Välipohjapalkin rakenne on kuitenkin suunniteltu toteutettavaksi niin että sen poikkileikkauspinta-ala on 240 x 360 mm². Siinä otettiin huomioon vaarnatappeja varten tehdyt pystysuuntaiset reiät (liitteet 14–16).

Välipohjapalkin asennusta varten on tehty asennusohje (liite 8).

Uudessa välipohjapalkissa on myös muutettu välipohjapalkin tuentatapa, joka on esitetty piirustuksin liitteissä 14–16. Tuenta on toteutettu siten, että välipohjapalkin toteutuksen suunnitelmiin on lisätty kaksi tukipilaria. Tukipilareiden ja välipohjapalkin kannatinpalkin mitoitus on tehty käsinlaskentana. Mitoituksen tuloksena välipohjapalkin kannatinpalkin kokonaiskäyttöaste on 99,3 %. Kyseinen kannatin-

palkki on kaikista välipohjan kannatinpalkeista pisin ja se sijaitsee tuulikaapin ja olohuoneen välisen oven päällä. Kannatinpalkin poikkileikkauksen pinta-ala on $150 \times 220 \text{ mm}^2$ (liite 4).

Välipohjapalkin tukipilarit toteutettiin liimapuusta GL30c, jossa yksi tukipilari on poikkileikkauspinta-alaltaan $200 \times 200 \text{ mm}^2$. Mitoituksen mukaan tukipilarin käyttöaste on 14 % (liite 5).

Suunnittelin talon asuinkerroksen lisälämpöeristysten, jolla toteutetaan rakennusmääräysten vaatimukset lämmönläpäisykertoimen U osalta. Olemassa olevan seinän päälle ja ullakolle lisäsin tarvittavan määrän selluvillaa ja paransin rakenteiden ilmantiiviyttä käyttämällä rakenteissa vesihöyryä hyvin läpäiseviä, mutta konvektioilmiötä estäviä materiaaleja. Välipohjan ja ulkoseinän uudet rakenteet on esitetty liitteissä 9–10.

Talon asuinkerroksen lisäeristämättömän ja lisäeristetyn ulkovaipan rakenteiden lämmönläpäisykertoimen U-arvot on esitetty liitteessä 7 taulukossa L7.1. Uuden lisäeristetyn ulkovaipan U-arvot ovat ulkoseinän US2 osalta $0,295 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ ja välipohjan YP1 / VP3 osalta $0,089 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ (liite 7). Ulkovaipan rakenteet näkyvät leikkauskuvassa liitteessä 15.

Työn tuloksena on valmistunut myös taloon liittyvät rakennuspiirustukset, joissa on esitetty talon todelliset rakenteet ja ulkonäkö korjausten jälkeen (liitteet 11–21).

Korjaussuunnitelma on toteutettu niin, että käyttöullakko on uuden suunnitelman mukaan mahdollista ottaa asuinkäyttöön pienin muutoksin muuttamatta kantavia rakenteita.

6 Tulosten tarkastelua

Voidaan todeta, että korjausrakentaminen ja sen suunnittelu ei aina ole helppoa ja yksinkertaista. Toisaalta on annettu paljon valmiita tietoja ja on valmiita rakenteita, joita voidaan käyttää hyväksi suunnittelussa ja toteutuksessa, että saadaan toimiva ja turvallinen kokonaisuus. Työssäni sain todeta myös, että käsinlaskenta ja suunnitteluohjelmalla toteutettujen rakenteiden kestävyys laskentatulokset eroavat toisistaan. Sain huomata tämän johtuvan siitä, että ohjelmassa on käytetty välipohjapalkin todellinen kuormitusmalli toisin kuin käsin laskettaessa. Myös taipuman osalta käsin laskettaessa taipuman arvo on isompi johtuen siitä, että taipuma on määritetty yksiaukkoisella palkilla. Näin ollen taipuman tulos käsin laskettuna on turvallisempi, koska sillä saadaan taipuman arvo isommaksi kuin se todellisuudessa tulee olemaan.

Korjausrakentamiseen ryhtyessä huomataan kuitenkin usein, että korjattavassa kohteessa joudutaan tekemään isompia rakennemuutoksia kuin alun perin on ajateltu. Usein tapahtuu niin, että rakennuksen purku ja uudelleen rakentaminen voi olla helpompi ja jopa halvempi ratkaisu. Tämän työn ohella jouduin miettimään monia erilaisia vaihtoehtoja välipohjapalkin toteutukselle. Yritin käyttää nykyistä palkkia hyväksi, mutta tämä aiheuttaisi isoja muutoksia välipohjarakenteissa ja kasvattaisi välipohjarakennetta liian paksuksi, joten vanhasta ratkaisusta luovuin ja toteutin palkin liimapuusta.

Ulkovaipan eristys oli aluksi ajateltu niin, että seinien hirsien välisten saumojen tiivistäminen toteutettaisiin kittaamalla tiivistysmassalla, jolloin säilyisi hieno ulkoseinänäkymä, mutta ei ole varmaa tietoa muodostuuko ulkosauman taakse kastepiste. Tästä johtuen päädyin suunnittelemaan lisälämpöeristystä vanhalla varmallalla menetelmällä, selluvillalla ja tuulileijonalevyillä, joten talosta tulee hyvin hengittävä mutta samalla hyvin tiivis, eikä ulkovaipassa synny konvektioilmiötä.

Tämä työ rajoittuu siihen, että korjataan vain asuinrakennuksen virheitä johtuen puutteellisista tiedoista talon perustuksen rakenteiden kunnosta ja siitä, miten ne on toteutettu. Perustusten kunnan tarkastus ja tutkiminen oli vielä kesken johtuen uusista löydöksistä.

Työssä olen saanut kokea miten suunnittelutyö toteutetaan yksin, ja miten tärkeää on kuulla ulkopuolisten ihmisten mielipiteitä. Itse olen saanut neuvoja ja mielipiteitä alan ammattilaisilta ja olen myös huomionut vanhojen ihmisten kokemuksia ja tietoa, joita heillä on kertynyt elämänsä aikana.

Lähteet

1. Salmi Tapio, Kuula Kari. Rakenteiden mekaniikka. Pressus Oy. Tampere: Klingendahl Paino Oy. 2012
2. RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3, EN 1991-1-4. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki 2011
3. Puuinfo. Puurakenteiden suunnittelu. Lyhennetty suunnitteluohje. Kolmas painos. 2011.
<http://puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi5lyhennettysuunnitteluohjeweewwwkolmaspainos10913-rilinkorjauksin.pdf>. Hakupäivä 9.11.2015
4. RIL 162-1 Puurakenteet 1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki. 1987.
5. Puuinfo. Teknillinen tiedote 05.08.2011. Hirsiseinän tehollinen paksuus. <http://puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/hirsisein%C3%A4n-tehollinen-paksuus>. Hakupäivä 16.11.2015
6. Kavaja Reino. Rakennuksen puutyöt. Rakennustieto Oy. 14., tarkistettu painos. Tampere: Tammerprint. 2011.
7. RT RakMk-21069. B1 Rakenteiden varmuus ja kuormitukset. Määräykset 1998. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto (1998).
https://www.rakennustieto.fi/tietopalvelu.karelia.fi/kortistot/tuotteet/RT_6779.html.stx. Hakupäivä 25.2.2016
8. RT RakMk-21099. C2 Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma (1999).
https://www.rakennustieto.fi/tietopalvelu.karelia.fi/kortistot/tuotteet/RT_7277.html.stx. Hakupäivä 16.11.2015

9. RT RakMk-21217. C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Ympäristöministeriö, asunto- ja rakennusosasto. Suomen rakentamismääräyskokoelma (2003). https://www.rakennustieto.fi.tietopalvelu.karelia.fi/kortistot/tuotteet/RT_8663.html.stx. Hakupäivä 16.11.2015
10. RT RakMk-21504_L2. D3 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma (2011). <https://www.rakennustieto.fi.tietopalvelu.karelia.fi/kortistot/tuotteet/112075.html.stx>. Hakupäivä 4.3.2016
11. Ympäristöministeriön asetus Eurocode –standardien soveltamisesta talonrakentamisessa. Annettu Helsingissä 15.10.2007. <http://www.eurocodes.fi/1995/1995-1-1/NA%20SFS-EN1995-1-1+A1-YM.pdf>. Hakupäivä 9.11.2015
12. RIL 205-1-2009 Puurakenteiden suunnitteluohje, Eurokoodi EN 1995-1-1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki. 2009
13. RT 82-11168 Hirsitalon suunnitteluperusteet. Ohjeet (2014). <https://www.rakennustieto.fi.tietopalvelu.karelia.fi/kortistot/tuotteet/111356.html.stx>. Hakupäivä 16.11.2015
14. RT RakMK-21354 D3 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2007. (2007). <https://www.rakennustieto.fi.tietopalvelu.karelia.fi/kortistot/tuotteet/100772.html.stx>. Hakupäivä 4.3.2016
15. SRTP LAUSUNTO, Suomen Rakennusterveyspalvelut Oy, 21.10.2014 (Osittainenkin julkaiseminen on sallittu vain Suomen Rakennusterveyspalvelut Oy:n kirjallisella luvalla)
16. SRTP LOPPULAUSUNTO OKT xx Lokakuu 2014, Suomen Rakennusterveyspalvelut Oy, 23.10.2014 (Osittainenkin julkaiseminen on sallittu vain Suomen Rakennusterveyspalvelut Oy:n kirjallisella luvalla)

Palkin tekniset tiedot ja kuormitusmalli

Palkin mitat ja kuormitusalueet:

Kantavaksi välipohjapalkiksi on valittu liimapuupalkki, jonka tiedot ovat:

$A_{vpp} = bh = 215 * 405 \text{ mm}^2$	välipohjapalkin poikkileikkauksen pinta-ala
$L_{12} = 3000 \text{ mm}$	palkin aukon pituus eteisen osalta
$L_{23} = 3300 \text{ mm}$	palkin aukon pituus olohuoneessa eteisen puolelta
$L_{34} = 4750 \text{ mm}$	palkin aukon pituus olohuoneessa makuuhuoneiden puolelta
$L_{45} = 3200 \text{ mm}$	palkin aukonpituus makuuhuoneessa
$L_{6vpp} = 1800 \text{ mm}$	palkin pituus ulkona
$L_{6vp} = 1600 \text{ mm}$	ulokkeen hyöty-/ omapaino kuormituspituus
$L_{6lumi} = 1300 \text{ mm}$	lumesta aiheutuva pistekuorman etäisyys palkin ulokkeella
$b_1 = 2000 \text{ mm}$	palkin kuormitusleveys eteisen kohdalla
$b_{at} = 4000 \text{ mm}$	palkin kuormitusleveys asumistilan kohdalla
$b_6 = 1500 \text{ mm}$	palkin kuormitusleveys parvekkeella

Palkin materiaali ja käyttöolosuhteet:

Materiaali on liimapuu GL30c

Käyttöluokka	2	[2, 3]
Aikaluokka	keskipitkä	
Seuraamusluokka	CC2	

Palkin ominaislujuudet ovat:

$f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$	Ominaistaivutuslujuus
$f_{c,0,k} = 25 \text{ N/mm}^2$	Ominaispuristuslujuus syysuuntaan
$f_{c,90,k} = 3.0 \text{ N/mm}^2$	Ominaispuristuslujuus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
$f_{t,0,k} = 20 \text{ N/mm}^2$	Ominaisvetolujuus syysuuntaan

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Ominaisleikkauslujuus}$$

$$E_{mean} = 13000 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Kimmomoduuli}$$

$$\rho_k = 390 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Ominastiheys}$$

$$\rho_{vpp} = 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 5,000(\text{kN})/\text{m}^3 \quad \text{laskelmissa käytettävä välipohjapalkin tiheyden arvo}$$

Palkin kuormat:

Välipohjapalkin omapaino viivakuormana,

$$g_{k,vpp} = \rho_{vpp} A_{vpp} = 5,0 \text{ kN/m}^3 * 0,087 \text{ m}^2 = 0,435 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (1)$$

Välipohjan omapaino ilman välipohjan palkkia:

$$g_{k,vp} = 0,310 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kevyiden väliseinien omapaino:

$$g_{k,s} = 0,300 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Vesikaton omapaino:

$$g_{k,katto} = 0,300 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

NR –ristikoilta välipohjapalkille siirtyvä pistekuorma. Pistekuormien määrä on 13 kpl. Edellä on mainittu yhden kuorman arvo koska muut pistekuormat ovat samanlaisia. Pistekuormien välit keskeltä keskelle löytyvät rakennepiirustuksesta (liite 16).

$$Q_{k,1-13} = 8,27 \text{ kN}$$

Välipohjan hyötykuorma eteisen kohdalla

$$q_{k,vp} = 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad [3]$$

Hyötykuorma parvekkeella

$$q_{k,p} = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad [3]$$

Lumikuorma maassa Joensuussa

$$s_k = 2,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad [3]$$

Kattomuodon kerroin

$$\mu_i = 0,8 \quad [3]$$

Lumikuorma katolla

$$q_{k,lumi} = s_k \mu_i = 2,7 \frac{kN}{m^2} * 0,8 = 2,2 \frac{kN}{m^2} \quad [3] \quad (2)$$

Lumikuormat siirtyvät palkille pistekuormina. Eteisen kohdalla kuorma kertyy $2,250m^2$ ja parvekkeen kohdalla $2,325m^2$ alueelta, joten nämä kuormat ovat:

Eteisen kohdalla

$$Q_{k,1} = 4,950kN$$

Parvekkeen kohdalla

$$Q_{k,6} = 5,115kN$$

Neliökuormat viivakuormiksi

Rakenteiden omapainot viivakuormina

Välipohjarakenteiden omapaino eteisessä:

$$g_{k,1} = g_{k,vpp} + b_1(g_{k,vp} + g_{k,s}) \quad (3)$$

$$g_{k,1} = 0,435 \frac{kN}{m} + 2,0m * (0,310 \frac{kN}{m^2} + 0,300 \frac{kN}{m^2}) = 1,655 \frac{kN}{m}$$

Välipohjarakenteiden omapaino asumistilan kohdalla:

$$g_{k,at} = g_{k,vpp} + b_{at}(g_{k,vp} + g_{k,s}) \quad (4)$$

$$g_{k,at} = 0,435 \frac{kN}{m} + 4,0m * (0,310 \frac{kN}{m^2} + 0,300 \frac{kN}{m^2}) = 2,875 \frac{kN}{m}$$

Rakenteiden omapaino parvekkeen kohdalla:

$$g_{k,6vp} = b_6(g_{k,vp} + g_{k,katto}) \quad (5)$$

$$g_{k,6vp} = 1,5m * (0,310 \frac{kN}{m^2} + 0,300 \frac{kN}{m^2}) = 0,915 \frac{kN}{m}$$

Hyötykuormat viivakuormina

Hyötykuorma välipohjan 1-2 aukon kohdalla

$$q_{k,1} = b_1 q_{k,vp} = 2,0m * 2,000 \frac{kN}{m^2} = 4,000 \frac{kN}{m} \quad (6)$$

Hyötykuorma parvekkeella:

$$q_{k,6} = b_6 q_{k,p} = 1,5m * 2,500 \frac{kN}{m^2} = 3,750 \frac{kN}{m} \quad (7)$$

Muutetaan pistekuormat tasaisiksi viivakuormiksi:

Välipohjan aukolla 2-3 on neljä pistekuormaa.

$$q_{k23} = \frac{Q_{k,1-13} * 4kpl}{L_{23}} = \frac{8,27kN * 4kpl}{3,3m} = 10,024 \frac{kN}{m} \quad (8)$$

Välipohjan aukolla 3-4 on kuusi pistekuormaa.

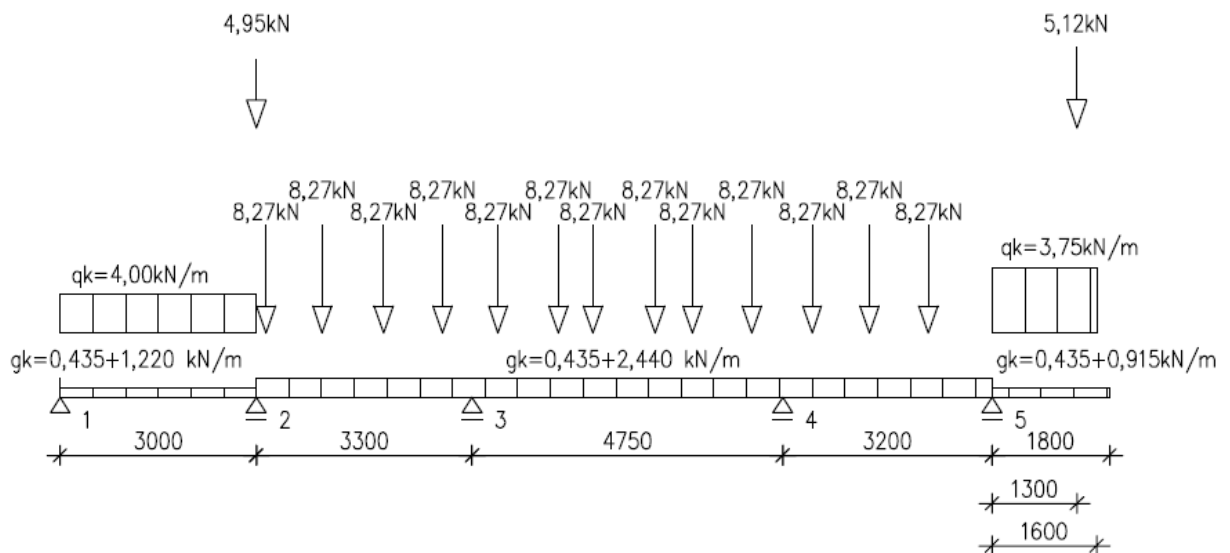
$$q_{k34} = \frac{Q_{k,1-13} * 6kpl}{L_{34}} = \frac{8,27kN * 6kpl}{4,75m} = 10,446 \frac{kN}{m} \quad (9)$$

Välipohjan aukolla 4-5 on kolme pistekuormaa.

$$q_{k45} = \frac{Q_{k,1-13} * 3kpl}{L_{45}} = \frac{8,27kN * 3kpl}{3,2m} = 7,753 \frac{kN}{m} \quad (10)$$

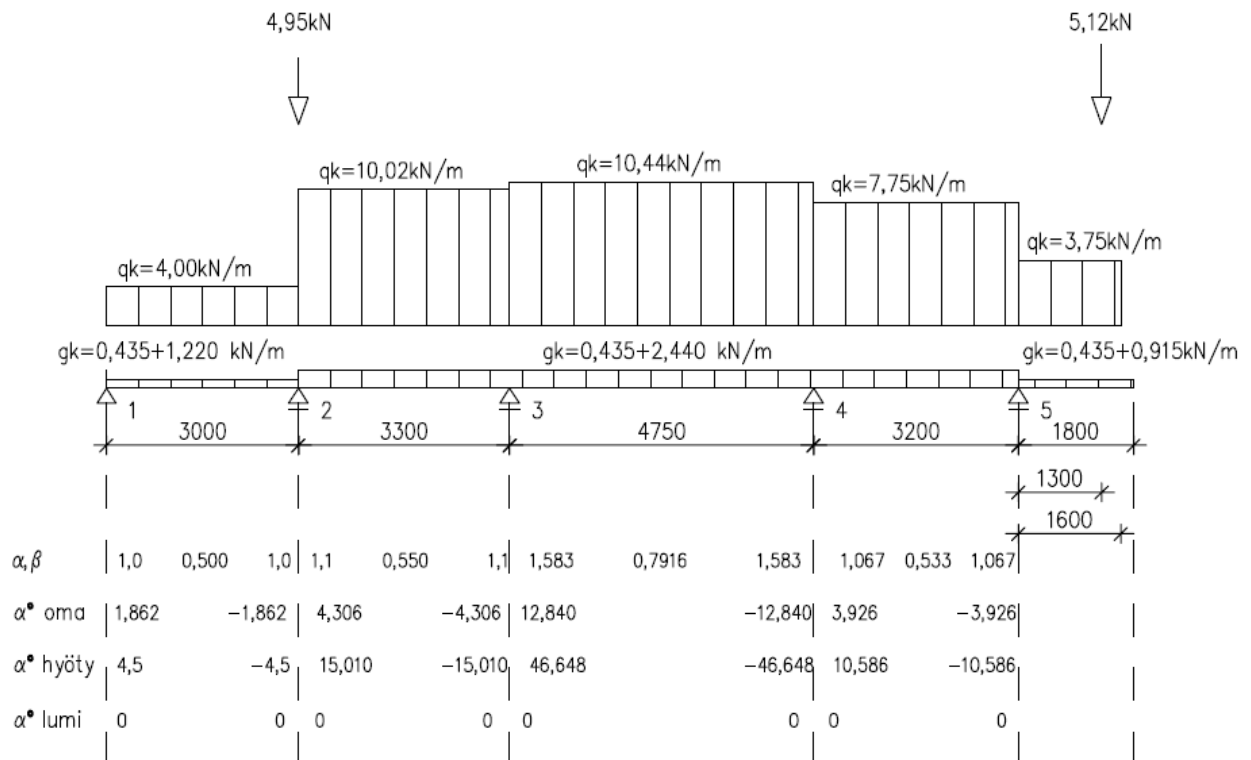
Palkin kuormitusmalli

Laaditaan palkin kuormitusmalli rasituspintojen, maksimileikkaus-, ja maksimimomenttiarvojen laskentaa varten. Edellä on esitetty kuva, jossa on palkin todellinen kuormitusmalli.



Kuva 1. Välipohjapalkin todellinen kuormitusmalli.

Laskennan helpottamista varten muutetaan pistehyötykuormat tasaisiksi pintakuormiksi. Kuvassa 2 on esitetty miten palkin kuormitusmalli muuttuu. Kuormien muutoslaskelma on tehty aiemmin tässä laskelmassa.



Kuva 2. Välipohjapalkin kuormitusmalli täydellä kuormalla.

Palkin tukimomenttien ratkaisu

Tarkastellaan välipohjapalkkia joka tukeutuu viidelle painumattomille tuille. Tuet numeroidaan vasemmalta oikealle. Välipohjapalkki on jatkuva neljäaukkoinen ja keskipistesuhteen symmetrinen, tästä johtuen välipohjapalkin joustokertoimet ovat symmetrisiä joka aukon kohdalla ja ne ratkaistaan seuraavasti:

$$\alpha_{ik} = \alpha_{ki} = \frac{L_i}{3EI_{ik}} \quad [1, \text{s.218}] \quad (11)$$

$$\beta_{i,k} = \beta_{k,i} = \frac{L_i}{6EI_{ik}} \quad [1, \text{s.218}] \quad (12)$$

Joissa:

- α ja β ovat sauvan joustokertoimet
- i on alaindeksi joka tarkoittaa sauvan vasenta puolta
- k on alaindeksi joka tarkoittaa sauvan oikeaa puolta
- L sauvan pituus

EI sauvan taivutusjäykkyys

Palkin päätepisteiden rotaatiota kuvaava suure $\alpha_{i,k}^0$, joka johtuu pelkästään kenttäkuormituksista, ratkaistaan seuraavasti:

kyseessä on tasaisesti jakautunut kuorma, jonka vuoksi käytetään edellä mainittua kaavaa

$$\alpha_{i,k}^0 = -\alpha_{k,i}^0 = \frac{pL^3}{24EI} \quad [1, \text{s.219}] \quad (13)$$

Jossa:

α^0 päätepisteiden rotaatiota kuvaava suure

p sauvan kuorma

EI sauvan taivutusjäykkyys

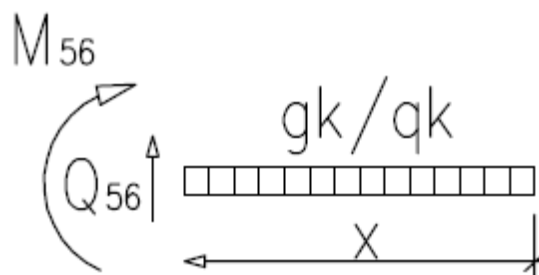
L sauvan pituus

Kuvassa 2 on esitetty edellä mainituilla kaavoilla lasketut sauvojen joustokertoimet ja päätepisteiden rotaatiosuureet.

Taivutusjäykkyyttä EI ei tarvitse kuljettaa laskuissa mukana, koska välipohjapalkin taivutusjäykkyys on vakio koko matkalla.

Ratkaistaan momentti M_{56} ja leikkausvoima Q_{56}

Palkin ulokkeelle muodostetaan voimakuvio.



Kuva 3. Palkin ulokkeen voimakuvio.

Kuvassa 3 olevat merkinnät ovat:

x on etäisyys sauvan oikeasta sauvanpäädästä

M_{56} on sauvan kenttämomentti

g_k/q_k sauvan kuormat oma-, / hyötykuorma

Q_{56} sauvan 5-6 leikkausvoima

Ehtoja ulokkeen momentin M_{56} ja leikkausvoima Q_{56} ratkaisua varten:

Systeemiä tarkastellaan palkin viitostuen suhteen

x kasvaa oikealta vasemmalle

$$\sum M_x = 0 \text{ ja } \sum F_y = 0$$

Yhtälö momentille M_{56vpp} palkin omasta painosta on voimassa kun:

$$1,8 > x > 0$$

$$\curvearrowleft 5 \quad -M_{56vpp} - \frac{g_{k,6vpp}x^2}{2} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{56vpp} = -\frac{g_{k,6vpp}x^2}{2} \quad (14)$$

Yhtälö leikkausvoimalle Q_{56}

$$\uparrow Q_{56vpp} - g_{k,6vpp}x = 0 \quad \Rightarrow \quad Q_{56vpp} = g_{k,6vpp}x$$

Yhtälö momentille M_{56vp} välipohjan omasta painosta on voimassa kun:

$$1,8 > x > 0,2$$

$$\curvearrowleft 5 \quad -M_{56vp} - \frac{g_{k,6vp}(x-0,2)^2}{2} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{56vp} = -\frac{g_{k,6vp}(x-0,2)^2}{2} \quad (15)$$

Yhtälö leikkausvoimalle Q_{56vp}

$$\uparrow Q_{56vp} - g_{k,6vp}(x - 0,2) = 0 \quad \Rightarrow \quad Q_{56vp} = g_{k,6vp}(x - 0,2)$$

Yhtälö momentille M_{56h} hyötykuormasta on voimassa kun:

$$1,8 > x > 0,2$$

$$\curvearrowleft 5 \quad -M_{56h} - \frac{q_{k,6}(x-0,2)^2}{2} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{56h} = -\frac{q_{k,6}(x-0,2)^2}{2} \quad (16)$$

Yhtälö leikkausvoimalle Q_{56vp}

$$\uparrow Q_{56h} - q_{k,6}(x - 0,2) = 0 \quad \Rightarrow \quad Q_{56h} = q_{k,6}(x - 0,2)$$

Yhtälö momentille M_{56l} lumen painosta on voimassa kun:

$$1,8 > x > 0,5$$

$$\curvearrowleft 5 \quad -M_{56l} - Q_{k6}(x - 0,5) = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{56l} = -Q_{k6}(x - 0,5) \quad (17)$$

Yhtälö leikkausvoimalle Q_{56l} lumen painosta:

$$\uparrow Q_{56l} - Q_{k6} = 0 \quad \Rightarrow \quad Q_{56l} = Q_{k6}$$

x (m)	M_{56vpp}	Q_{56vpp}	M_{56vp}	Q_{56vp}	M_{56h}	Q_{56h}	M_{56l}	Q_{56l}
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	-0,009	0,087	0	0	0	0	0	0
0,5	-0,054	0,218	-0,041	0,275	-0,169	1,125	0	0
1,0	-0,218	0,435	-0,293	0,732	-1,200	3,000	-2,558	5,115
1,4	-0,427	0,609	-0,659	1,098	-2,700	4,500	-4,604	5,115
1,8	-0,705	0,783	-1,171	1,464	-4,800	6,000	-6,650	5,115

Taulukko 1. Välipohjapalkkiulokkeen momentit, yksikkönä *kNm* ja leikkausvoimat yksikkönä *kN*.

Kirjoitetaan momenttitasapainoehdot

$$M_{12} = 0 \quad (18) \quad \text{tukimomentti tuella 1}$$

$$M_{21} + M_{23} = 0 \Rightarrow M_{21} = -M_{23} \quad (19) \quad \text{momenttitasapaino tuella 2}$$

$$M_{32} + M_{34} = 0 \Rightarrow M_{32} = -M_{34} \quad (20) \quad \text{momenttitasapaino tuella 3}$$

$$M_{43} + M_{45} = 0 \Rightarrow M_{43} = -M_{45} \quad (21) \quad \text{momenttitasapaino tuella 4}$$

$$M_{54} = -M_{56} \quad (22) \quad \text{tukimomentti tuella 5}$$

Tunnetaan momentit tuilla 1 ja 5, tuntemattomina jää kolme tukimomenttia tuilla 2, 3 ja

4. Välipohjapalkin tuntemattomien tukimomenttien ratkaisua varten käytetään

CLAPEYRONin yhtälöä, joka sanotaan jatkuvan palkin kolmen momentin yhtälöksi.

$$\beta_{i,i-1}M_{i-1} + (\alpha_{i,i-1} + \alpha_{i,i+1})M_i + \beta_{i,i+1}M_{i+1} = \alpha_{i,i-1}^0 - \alpha_{i,i+1}^0 \quad (23) \quad [1,s.220]$$

Merkitään tuki jonka suhteen kirjoitetaan kolmen momentin yhtälöä pienellä i -

kirjaimella. Momenttitasapainoehtojen perusteella kirjoitetaan yhteydet ja muodostetaan ratkaisuyhtälöt.

Tukimomentit kun välipohjapalkki on täysin kuormitettu

i = 2

$$\varphi_{21} = -\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}M_{21} + \alpha_{21}^0 \quad (24)$$

$$\varphi_{23} = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}M_{32} + \alpha_{23}^0 \quad (25)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{21} = \varphi_{23}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}(-M_{23}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}(-M_{34}) + \alpha_{23}^0 \quad (26)$$

$$\beta_{21}M_{12} + (\alpha_{21} + \alpha_{23})M_{23} + \beta_{23}M_{34} = \alpha_{21}^0 - \alpha_{23}^0 \quad (27)$$

- välipohjan omasta painosta

$$0,500 * 0 + (1,000 + 1,100)M_{23} + 0,550M_{34} = -1,862 - 4,306$$

$$2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -6,186$$

- hyötykuormasta

$$0,500 * 0 + (1,000 + 1,100)M_{23} + 0,550M_{34} = -4,500 - 15,010$$

$$2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -19,510$$

i = 3

$$\varphi_{32} = -\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}M_{32} + \alpha_{32}^0 \quad (28)$$

$$\varphi_{34} = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}M_{45} + \alpha_{34}^0 \quad (29)$$

Yhteensopivuuden perustella on oltava $\varphi_{32} = \varphi_{34}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}(-M_{34}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}(-M_{45}) + \alpha_{34}^0 \quad (30)$$

$$\beta_{32}M_{23} + (\alpha_{32} + \alpha_{34})M_{34} + \beta_{34}M_{45} = \alpha_{32}^0 - \alpha_{34}^0 \quad (31)$$

- välipohjan omasta painosta

$$0,550M_{23} + (1,100 + 1,1,583)M_{34} + 0,792M_{45} = -4,305 - 12,840$$

$$0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -17,145$$

- hyötykuormasta

$$0,550M_{23} + (1,100 + 1,1,583)M_{34} + 0,792M_{45} = -15,010 - 46,648$$

$$0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -61,658$$

i = 4

$$\varphi_{43} = -\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}M_{43} + \alpha_{43}^0 \quad (32)$$

$$\varphi_{45} = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}M_{54} + \alpha_{45}^0 \quad (33)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{43} = \varphi_{45}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}(-M_{45}) + \alpha_{43}^0 = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}(-M_{56}) + \alpha_{45}^0 \quad (34)$$

$$\beta_{43}M_{34} + (\alpha_{43} + \alpha_{45})M_{45} + \beta_{45}M_{56} = \alpha_{43}^0 - \alpha_{45}^0 \quad (35)$$

- välipohjan omasta painosta

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533M_{56} = -12,840 - 3,926$$

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533 * (-0,705 - 1,171) = -16,766$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} - 0,999 = -16,766$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -15,765$$

- hyötykuormasta

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533M_{56} = -46,648 - 10,586$$

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533 * (-4,800) = -46,648 - 10,586$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -57,243 + 2,558$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -54,674$$

- lumikuormasta

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} - 0,533 * (-6,649) = 0$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = 3,546$$

Edellä muodostetuista yhtälöistä kootaan yhtälöryhmä ja ratkaistaan tuntemattomat tukimomentit matriisilaskennan avulla.

- yhtälöryhmä omasta painosta aiheutuville tukimomenteille

$$\begin{cases} 2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -6,186 \\ 0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -17,145 \\ 0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -15,765 \end{cases} \quad (36)$$

- yhtälöryhmä hyötykuormista aiheutuville tukimomenteille

$$\begin{cases} 2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -19,510 \\ 0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -61,658 \\ 0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -54,674 \end{cases} \quad (37)$$

- yhtälöryhmä lumen painosta aiheutuville tukimomenteille

$$\begin{cases} 2,200M_{23} + 0,550M_{34} = 0 \\ 0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = 0 \\ 0,792M_{34} + 2,650M_{45} = 3,546 \end{cases} \quad (38)$$

Muodostetaan yhtälöryhmän matriisit.

Matriisi A sisältää tuntemattomien tukimomenttien kertoimet, jotka on poimittu yhtälöryhmästä. Välipohjapalkin kuormituksen muuttuessa matriisi A säilyy samanlaisena.

$$A = \begin{bmatrix} M_{23} & M_{34} & M_{45} \\ 2,2 & 0,55 & 0 \\ 0,55 & 2,683 & 0,792 \\ 0 & 0,792 & 2,650 \end{bmatrix}$$

B-C matriisit sisältävät yhtälöryhmän vakiot, jotka muuttuvat kuormitustavan ja kuormatyyppin mukaan.

- yhtälöryhmän vakioiden matriisi välipohjan ja palkin omasta painosta

$$B = \begin{bmatrix} -6,186 \\ -17,145 \\ -15,765 \end{bmatrix}$$

- yhtälöryhmän vakioiden matriisi välipohjan hyötykuormasta

$$C = \begin{bmatrix} -19,510 \\ -61,658 \\ -54,674 \end{bmatrix}$$

- yhtälöryhmän vakioiden matriisi lumikuormasta

$$D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 3,5464 \end{bmatrix}$$

Lasketaan matriisien tulo, vastaukseksi saadaan tukien 2,3 ja 4 tukimomenttien arvot.

- tukimomentit omasta painosta

$$A^{-1}B = \begin{bmatrix} -1,706 \\ -4,699 \\ -4,545 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} M_{23} &= -1,706 \text{ kNm} \\ M_{34} &= -4,699 \text{ kNm} \\ M_{45} &= -4,545 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- tukimomentit hyötykuormasta

$$A^{-1}C = \begin{bmatrix} -4,716 \\ -17,646 \\ -15,412 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} M_{23} &= -4,716 \text{ kNm} \\ M_{34} &= -17,646 \text{ kNm} \\ M_{45} &= -15,412 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- tukimomentit lumikuormasta

$$A^{-1}D = \begin{bmatrix} 0,120 \\ -0,460 \\ 1,476 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} M_{23} &= 0,120 \text{ kNm} \\ M_{34} &= -0,460 \text{ kNm} \\ M_{45} &= 1,476 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tuki	M omapaino	M hyöty	M lumi	M summa	M summa ei lunta
1	0	0	0	0	0
2	-1,706	-4,716	0,120	-6,302	-6,422
3	-4,699	-17,646	-0,460	-22,623	-22,163
4	-4,545	-15,412	1,476	-18,481	-19,957
5	-1,876	-4,800	-6,650	-6,676	-13,326

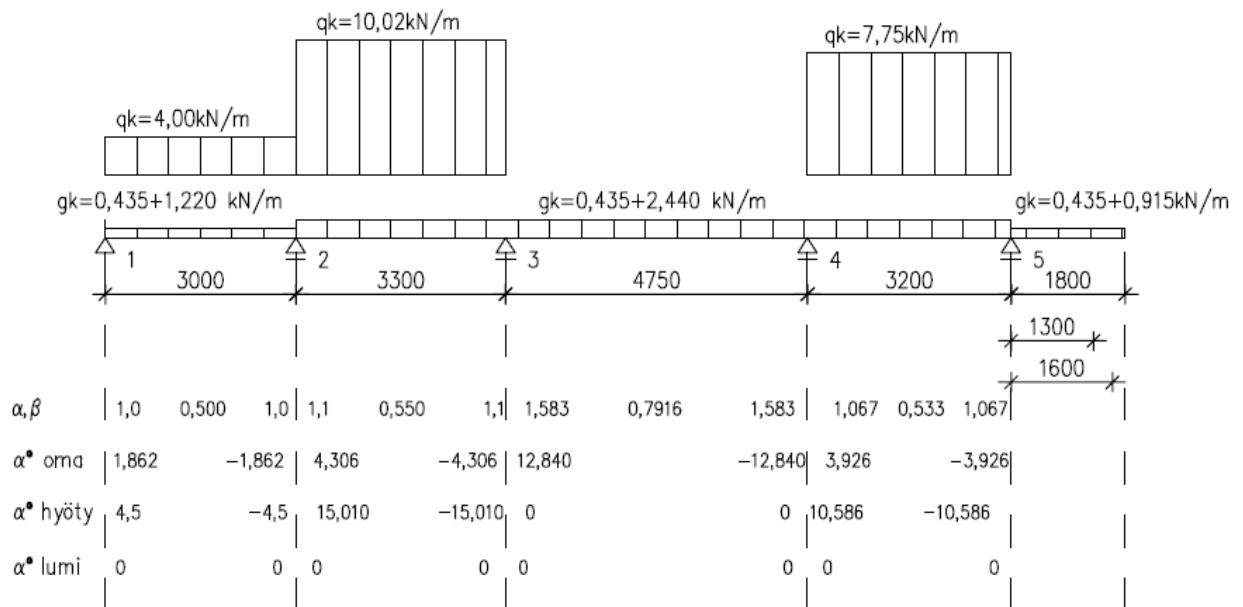
Taulukko 2. Tukimomentit täysin kuormitetulla välipohjapalkilla.

Seuraavien kuormitustapausten aiheuttamat tukimomentit lasketaan samalla laskentamallilla kuin täysin kuormitetun välipohjapalkin tukimomentit. Ratkaisuyhtälöissä muuttuvat vain vakioarvot, koska päätepisteiden rotaatiota kuvaavat suureet α^0

muuttuvat kuormitustapauksittain. Muutokset tukimomenteissa tapahtuvat hyöty-, ja lumikuormien osalta, joten omasta painosta aiheutuvan momentin osuus ei tarvitse enää laskea uudestaan. Lumikuormasta aiheutuva momentin osuus myös on laskettu edellä, se otetaan huomioon joissakin kuormitustapauksissa, myös ei tarvitse laskea toista kertaa.

Välipohjapalkin toinen tuki on kuormitettu enimmillään

Laaditaan kuormitusmalli niin, että välipohjapalkin kolmas tuki on kuormitettu enimmillään.



Kuva 4. Välipohjapalkin toinen tuki kuormitettu enimmillään.

i = 2

$$\varphi_{21} = -\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}M_{21} + \alpha_{21}^0 \quad (24)$$

$$\varphi_{23} = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}M_{32} + \alpha_{23}^0 \quad (25)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{21} = \varphi_{23}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}(-M_{23}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}(-M_{34}) + \alpha_{23}^0 \quad (26)$$

$$\beta_{21}M_{12} + (\alpha_{21} + \alpha_{23})M_{23} + \beta_{23}M_{34} = \alpha_{21}^0 - \alpha_{23}^0 \quad (27)$$

- hyötykuormasta

$$0,500 * 0 + (1,000 + 1,100)M_{23} + 0,550M_{34} = -4,500 - 15,010$$

$$2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -19,510$$

i = 3

$$\varphi_{32} = -\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}M_{32} + \alpha_{32}^0 \quad (28)$$

$$\varphi_{34} = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}M_{45} + \alpha_{34}^0 \quad (29)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{32} = \varphi_{34}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}(-M_{34}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}(-M_{45}) + \alpha_{34}^0 \quad (30)$$

$$\beta_{32}M_{23} + (\alpha_{32} + \alpha_{34})M_{34} + \beta_{34}M_{45} = \alpha_{32}^0 - \alpha_{34}^0 \quad (31)$$

- hyötykuormasta

$$0,550M_{23} + (1,100 + 1,1,583)M_{34} + 0,792M_{45} = -15,010$$

$$0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -15,010$$

i = 4

$$\varphi_{43} = -\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}M_{43} + \alpha_{43}^0 \quad (32)$$

$$\varphi_{45} = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}M_{54} + \alpha_{45}^0 \quad (33)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{43} = \varphi_{45}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}(-M_{45}) + \alpha_{43}^0 = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}(-M_{56}) + \alpha_{45}^0 \quad (34)$$

$$\beta_{43}M_{34} + (\alpha_{43} + \alpha_{45})M_{45} + \beta_{45}M_{56} = \alpha_{43}^0 - \alpha_{45}^0 \quad (35)$$

- hyötykuormasta

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533M_{56} = -10,586$$

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533 * (0) = -10,586$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -10,586$$

- yhtälöryhmä hyötykuormista aiheutuville tukimomenteille

$$\begin{cases} 2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -19,510 \\ 0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -15,010 \\ 0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -10,586 \end{cases} \quad (37)$$

- yhtälöryhmän vakioiden matriisi välipohjan hyötykuormasta

$$E = \begin{bmatrix} -19,510 \\ -15,010 \\ -10,586 \end{bmatrix}$$

- tukimomentit hyötykuormasta

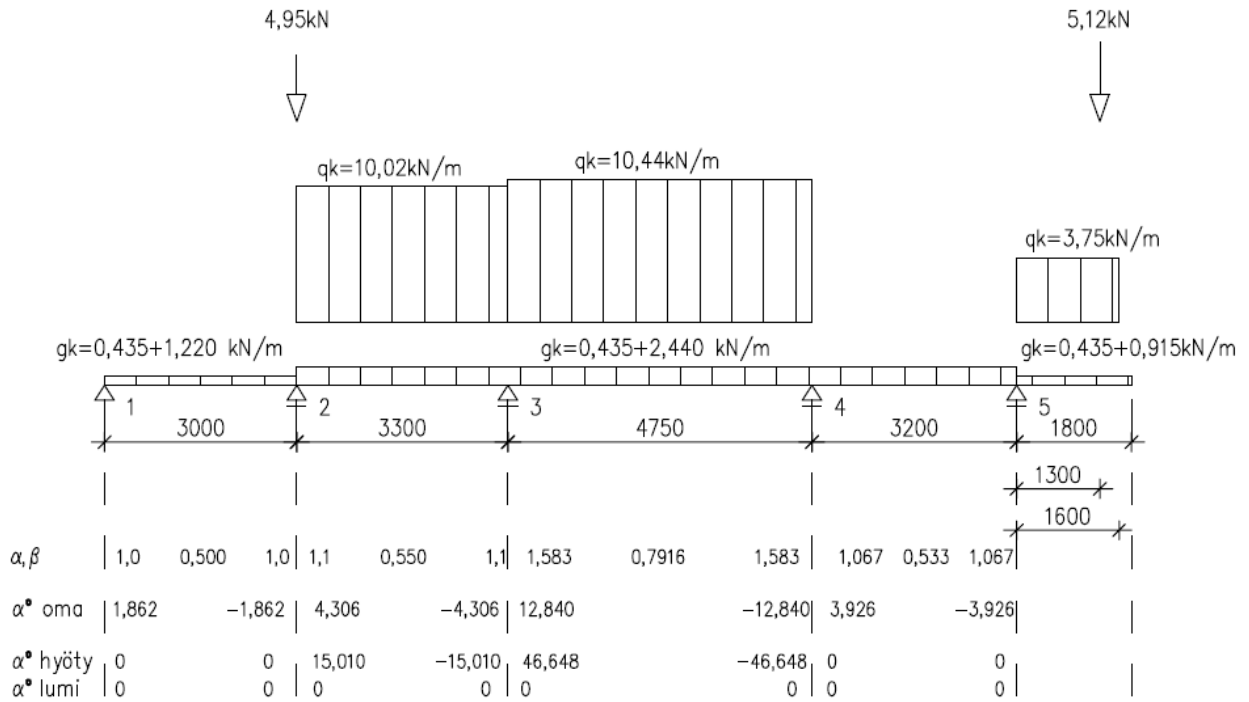
$$A^{-1}E = \begin{bmatrix} -8,524 \\ -2,926 \\ -3,120 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} M_{23} &= -8,524 \text{ kNm} \\ M_{34} &= -2,926 \text{ kNm} \\ M_{45} &= -3,120 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tuki	M omapaino	M hyöty	M lumi	M summa	M summa ei lunta
1	0	0	0	0	0
2	-1,706	-8,524	0	-10,230	-10,243
3	-4,699	-2,926	0	-7,625	-7,625
4	-4,545	-3,120	0	-7,665	-6,601
5	-1,876	0	0	-1,876	-1,876

Taulukko 3. Tukimomentit kun toinen tuki on kuormitettu enimmillään.

Välipohjapalkin kolmas tuki on kuormitettu enimmillään

Laaditaan kuormitusmalli niin, että välipohjapalkin kolmas tuki on kuormitettu enimmillään.



Kuva 5. Välipohjapalkin kolmas tuki kuormitettu enimmillään.

i = 2

$$\varphi_{21} = -\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}M_{21} + \alpha_{21}^0 \quad (24)$$

$$\varphi_{23} = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}M_{32} + \alpha_{23}^0 \quad (25)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{21} = \varphi_{23}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}(-M_{23}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}(-M_{34}) + \alpha_{23}^0 \quad (26)$$

$$\beta_{21}M_{12} + (\alpha_{21} + \alpha_{23})M_{23} + \beta_{23}M_{34} = \alpha_{21}^0 - \alpha_{23}^0 \quad (27)$$

- hyötykuormasta

$$0,500 \cdot 0 + (1,000 + 1,100)M_{23} + 0,550M_{34} = -15,010$$

$$2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -15,010$$

i = 3

$$\varphi_{32} = -\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}M_{32} + \alpha_{32}^0 \quad (28)$$

$$\varphi_{34} = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}M_{45} + \alpha_{34}^0 \quad (29)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{32} = \varphi_{34}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}(-M_{34}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}(-M_{45}) + \alpha_{34}^0 \quad (30)$$

$$\beta_{32}M_{23} + (\alpha_{32} + \alpha_{34})M_{34} + \beta_{34}M_{45} = \alpha_{32}^0 - \alpha_{34}^0 \quad (31)$$

- hyötykuormasta

$$0,550M_{23} + (1,100 + 1,1583)M_{34} + 0,792M_{45} = -15,010 - 46,648$$

$$0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -61,658$$

i = 4

$$\varphi_{43} = -\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}M_{43} + \alpha_{43}^0 \quad (32)$$

$$\varphi_{45} = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}M_{54} + \alpha_{45}^0 \quad (33)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{43} = \varphi_{45}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}(-M_{45}) + \alpha_{43}^0 = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}(-M_{56}) + \alpha_{45}^0 \quad (34)$$

$$\beta_{43}M_{34} + (\alpha_{43} + \alpha_{45})M_{45} + \beta_{45}M_{56} = \alpha_{43}^0 - \alpha_{45}^0 \quad (35)$$

- hyötykuormasta

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0533M_{56} = -46,648$$

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0533 * (-4,800) = -46,648$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -46,648 + 2,558$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -44,090$$

- yhtälöryhmä hyötykuormista aiheutuville tukimomenteille

$$\begin{cases} 2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -15,010 \\ 0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -61,658 \\ 0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -44,090 \end{cases} \quad (37)$$

- yhtälöryhmän vakioiden matriisi välipohjan hyötykuormasta

$$F = \begin{bmatrix} -15,010 \\ -61,658 \\ -44,090 \end{bmatrix}$$

- tukimomentit hyötykuormasta

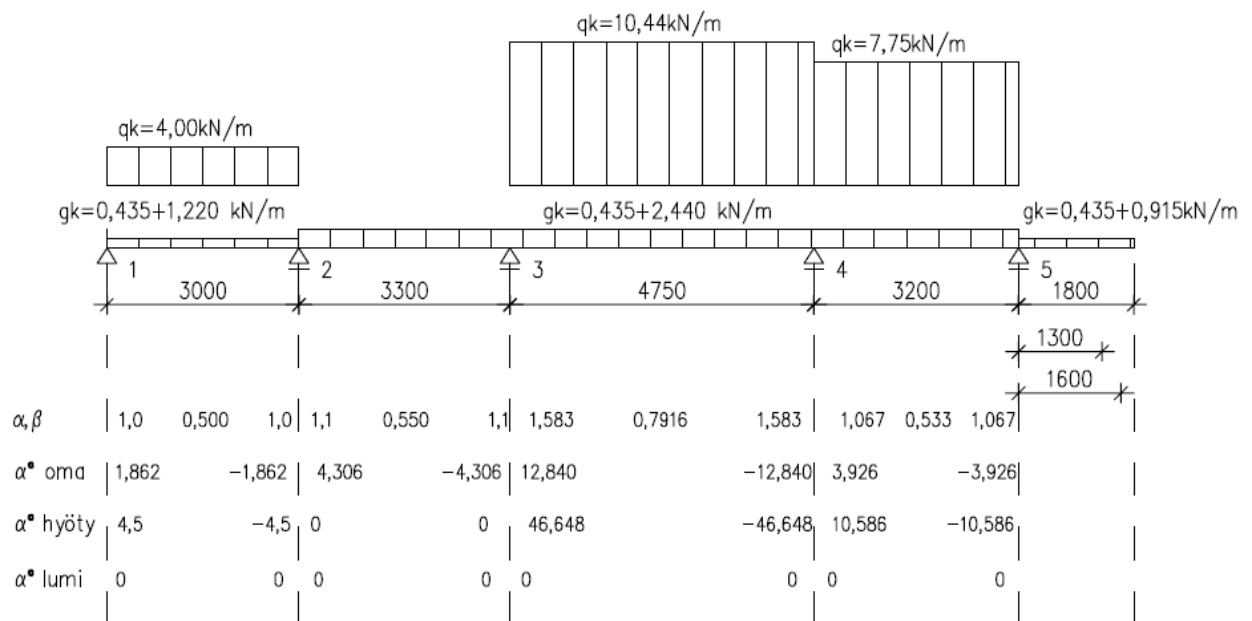
$$A^{-1}F = \begin{bmatrix} -2,080 \\ -19,351 \\ -10,850 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} M_{23} &= -2,080 \text{ kNm} \\ M_{34} &= -19,351 \text{ kNm} \\ M_{45} &= -10,850 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tuki	M omapaino	M hyöty	M lumi	M summa	M summa ei lunta
1	0	0	0	0	0
2	-1,706	-2,080	0,120	-3,666	-3,546
3	-4,699	-19,351	-0,460	-24,510	-24,050
4	-4,545	-10,850	1,476	-13,919	-15,395
5	-1,876	-4,800	-6,650	-6,676	-13,326

Taulukko 4. Tukimomentit kun kolmas tuki on kuormitettu enimmillään.

Välipohjapalkin neljäs tuki on kuormitettu enimmillään

Laaditaan kuormitusmalli niin, että välipohjapalkin kolmas tuki on kuormitettu enimmillään.



Kuva 6. Välipohjapalkin neljäs tuki kuormitettu enimmillään.

i = 2

$$\varphi_{21} = -\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}M_{21} + \alpha_{21}^0 \quad (24)$$

$$\varphi_{23} = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}M_{32} + \alpha_{23}^0 \quad (25)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{21} = \varphi_{23}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}(-M_{23}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}(-M_{34}) + \alpha_{23}^0 \quad (26)$$

$$\beta_{21}M_{12} + (\alpha_{21} + \alpha_{23})M_{23} + \beta_{23}M_{34} = \alpha_{21}^0 - \alpha_{23}^0 \quad (27)$$

- hyötykuormasta

$$0,500 * 0 + (1,000 + 1,100)M_{23} + 0,550M_{34} = -4,500$$

$$2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -4,500$$

i = 3

$$\varphi_{32} = -\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}M_{32} + \alpha_{32}^0 \quad (28)$$

$$\varphi_{34} = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}M_{45} + \alpha_{34}^0 \quad (29)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{32} = \varphi_{34}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}(-M_{34}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}(-M_{45}) + \alpha_{34}^0 \quad (30)$$

$$\beta_{32}M_{23} + (\alpha_{32} + \alpha_{34})M_{34} + \beta_{34}M_{45} = \alpha_{32}^0 - \alpha_{34}^0 \quad (31)$$

- hyötykuormasta

$$0,550M_{23} + (1,100 + 1,1,583)M_{34} + 0,792M_{45} = -46,648$$

$$0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -46,648$$

i = 4

$$\varphi_{43} = -\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}M_{43} + \alpha_{43}^0 \quad (32)$$

$$\varphi_{45} = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}M_{54} + \alpha_{45}^0 \quad (33)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{43} = \varphi_{45}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}(-M_{45}) + \alpha_{43}^0 = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}(-M_{56}) + \alpha_{45}^0 \quad (34)$$

$$\beta_{43}M_{34} + (\alpha_{43} + \alpha_{45})M_{45} + \beta_{45}M_{56} = \alpha_{43}^0 - \alpha_{45}^0 \quad (35)$$

- hyötykuormasta

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533M_{56} = -46,648 - 10,586$$

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533 * 0 = -57,243$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -57,243$$

- yhtälöryhmä hyötykuormista aiheutuville tukimomenteille

$$\begin{cases} 2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -4,500 \\ 0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -46,468 \\ 0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -57,243 \end{cases} \quad (37)$$

- yhtälöryhmän vakioiden matriisi välipohjan hyötykuormasta

$$G = \begin{bmatrix} -4,500 \\ -46,468 \\ -57,243 \end{bmatrix}$$

- tukimomentit hyötykuormasta

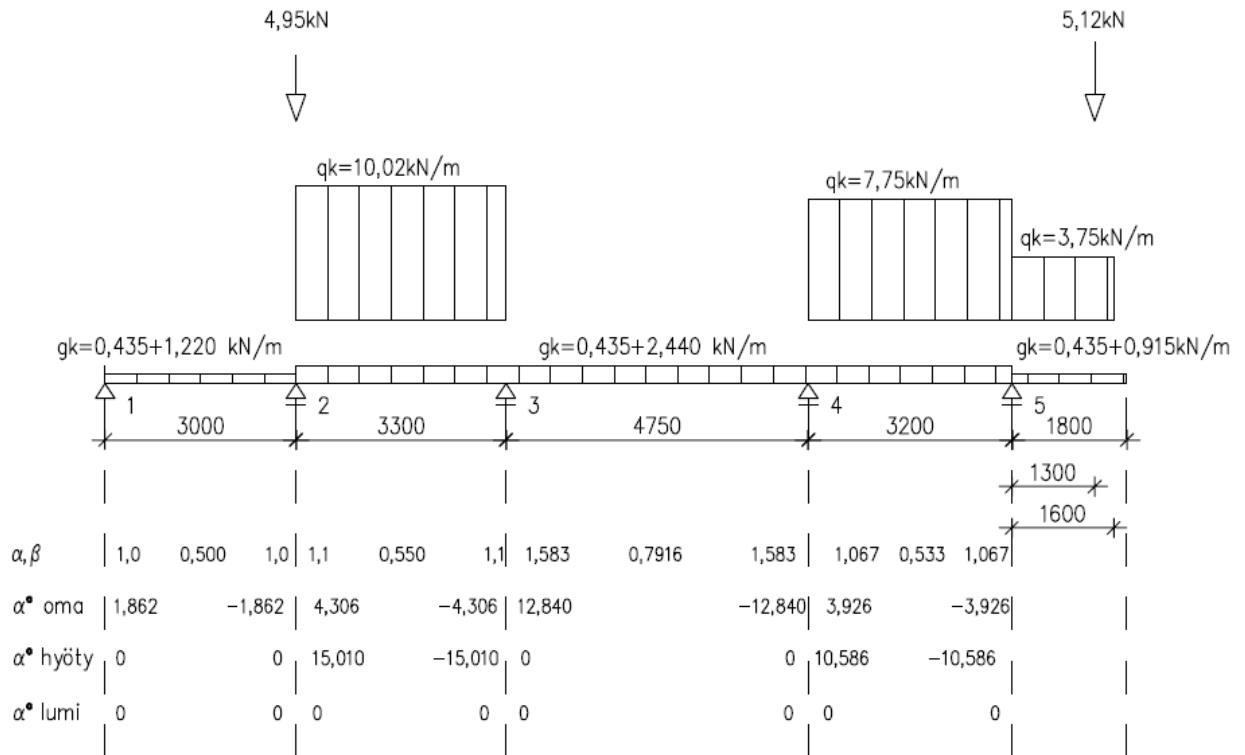
$$A^{-1}G = \begin{bmatrix} -1,063 \\ -12,241 \\ -17,943 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} M_{23} &= -1,063 \text{ kNm} \\ M_{34} &= -12,241 \text{ kNm} \\ M_{45} &= -17,943 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tuki	M omapaino	M hyöty	M lumi	M summa	M summa ei lunta
1	0	0	0	0	0
2	-1,706	-1,063	0	-2,769	-2,769
3	-4,699	-12,241	0	-16,940	-16,940
4	-4,545	-17,943	0	-22,488	-22,488
5	-1,876	0	0	-1,876	-1,876

Taulukko 5. Tukimomentit kun neljäs tuki on kuormitettu enimmillään.

Välipohjapalkin viides tuki on kuormitettu enimmillään

Laaditaan kuormitusmalli niin, että välipohjapalkin kolmas tuki on kuormitettu enimmillään.



Kuva 7. Välipohjapalkin viides tuki kuormitettu enimmillään.

i = 2

$$\varphi_{21} = -\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}M_{21} + \alpha_{21}^0 \quad (24)$$

$$\varphi_{23} = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}M_{32} + \alpha_{23}^0 \quad (25)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{21} = \varphi_{23}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}(-M_{23}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}(-M_{34}) + \alpha_{23}^0 \quad (26)$$

$$\beta_{21}M_{12} + (\alpha_{21} + \alpha_{23})M_{23} + \beta_{23}M_{34} = \alpha_{21}^0 - \alpha_{23}^0 \quad (27)$$

- hyötykuormasta

$$0,500 \cdot 0 + (1,000 + 1,100)M_{23} + 0,550M_{34} = -15,010$$

$$2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -15,010$$

i = 3

$$\varphi_{32} = -\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}M_{32} + \alpha_{32}^0 \quad (28)$$

$$\varphi_{34} = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}M_{45} + \alpha_{34}^0 \quad (29)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{32} = \varphi_{34}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}(-M_{34}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}(-M_{45}) + \alpha_{34}^0 \quad (30)$$

$$\beta_{32}M_{23} + (\alpha_{32} + \alpha_{34})M_{34} + \beta_{34}M_{45} = \alpha_{32}^0 - \alpha_{34}^0 \quad (31)$$

- hyötykuormasta

$$0,550M_{23} + (1,100 + 1,1,583)M_{34} + 0,792M_{45} = -15,010$$

$$0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -15,010$$

i = 4

$$\varphi_{43} = -\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}M_{43} + \alpha_{43}^0 \quad (32)$$

$$\varphi_{45} = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}M_{54} + \alpha_{45}^0 \quad (33)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{43} = \varphi_{45}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}(-M_{45}) + \alpha_{43}^0 = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}(-M_{56}) + \alpha_{45}^0 \quad (34)$$

$$\beta_{43}M_{34} + (\alpha_{43} + \alpha_{45})M_{45} + \beta_{45}M_{56} = \alpha_{43}^0 - \alpha_{45}^0 \quad (35)$$

- hyötykuormasta

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533M_{56} = -10,586$$

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533 * (-4,800) = -10,586$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -10,586 + 4,800$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -15,386$$

- yhtälöryhmä hyötykuormista aiheutuville tukimomenteille

$$\begin{cases} 2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -15,010 \\ 0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -15,010 \\ 0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -15,386 \end{cases} \quad (37)$$

- yhtälöryhmän vakioden matriisi välipohjan hyötykuormasta

$$H = \begin{bmatrix} -15,010 \\ -15,010 \\ -15,386 \end{bmatrix}$$

- tukimomentit hyötykuormasta

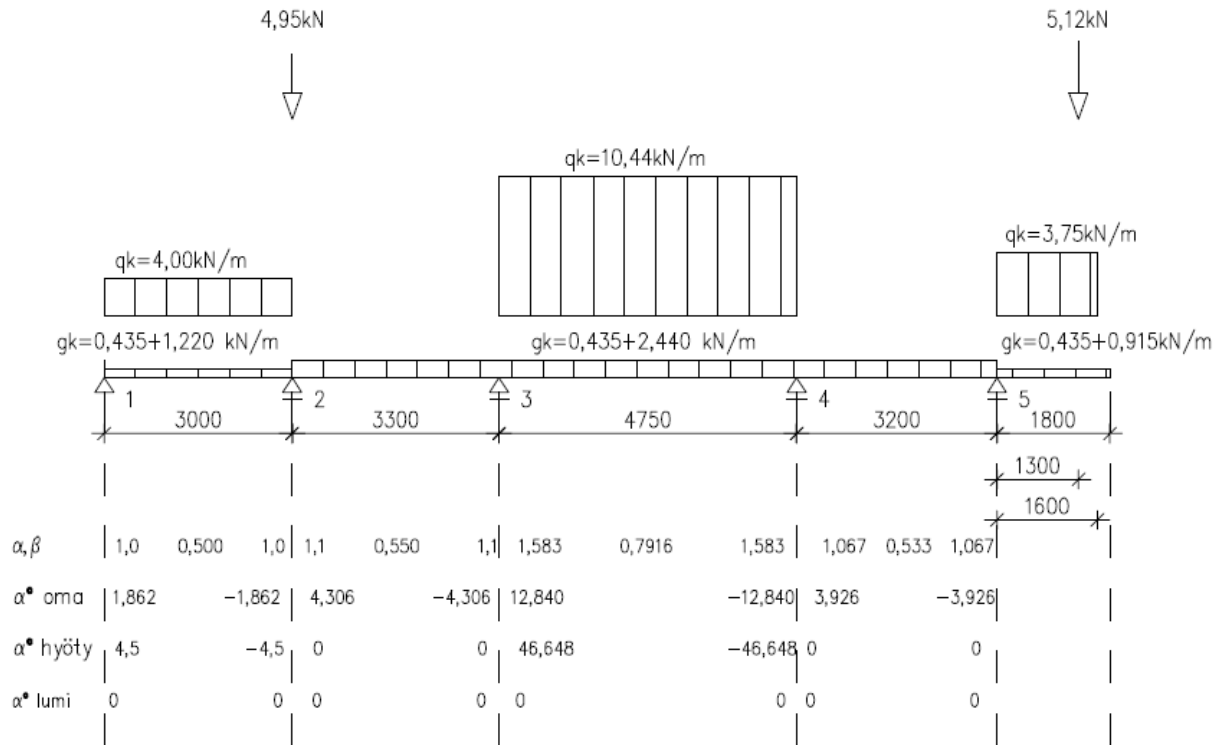
$$A^{-1}H = \begin{bmatrix} -6,410 \\ -2,815 \\ -4,965 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} M_{23} &= -6,410 \text{ kNm} \\ M_{34} &= -2,815 \text{ kNm} \\ M_{45} &= -4,965 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tuki	M omapaino	M hyöty	M lumi	M summa	M summa ei lunta
1	0	0	0	0	0
2	-1,706	-6,410	0,120	-7,996	-8,116
3	-4,699	-2,815	-0,460	-7,974	-7,514
4	-4,545	-4,965	1,476	-9,510	-8,034
5	-1,876	-4,800	-6,650	-13,326	-6,676

Taulukko 6. Tukimomentit kun viides tuki on kuormitettu enimmillään.

Välipohjapalkin tukimomentit kun sauvalla 3-4 on suurin kenttämomentti

Laaditaan kuormitusmalli, jossa välipohjapalkki on kuormitettu niin, että sauvaan 3-4 aiheutuu suurin kenttämomentti.



Kuva 8. Välipohjapalkin kuormitus jolloin sauvaan 3-4 kohdistuu välipohjapalkin suurin mahdollinen kenttämomentti.

i = 2

$$\varphi_{21} = -\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}M_{21} + \alpha_{21}^0 \quad (24)$$

$$\varphi_{23} = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}M_{32} + \alpha_{23}^0 \quad (25)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{21} = \varphi_{23}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{21}M_{12} + \alpha_{21}(-M_{23}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{23}M_{23} - \beta_{23}(-M_{34}) + \alpha_{23}^0 \quad (26)$$

$$\beta_{21}M_{12} + (\alpha_{21} + \alpha_{23})M_{23} + \beta_{23}M_{34} = \alpha_{21}^0 - \alpha_{23}^0 \quad (27)$$

- hyötykuormasta

$$0,500 \cdot 0 + (1,000 + 1,100)M_{23} + 0,550M_{34} = -4,500$$

$$2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -4,500$$

i = 3

$$\varphi_{32} = -\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}M_{32} + \alpha_{32}^0 \quad (28)$$

$$\varphi_{34} = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}M_{45} + \alpha_{34}^0 \quad (29)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{32} = \varphi_{34}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{32}M_{23} + \alpha_{32}(-M_{34}) + \alpha_{21}^0 = \alpha_{34}M_{34} - \beta_{34}(-M_{45}) + \alpha_{34}^0 \quad (30)$$

$$\beta_{32}M_{23} + (\alpha_{32} + \alpha_{34})M_{34} + \beta_{34}M_{45} = \alpha_{32}^0 - \alpha_{34}^0 \quad (31)$$

- hyötykuormasta

$$0,550M_{23} + (1,100 + 1,1,583)M_{34} + 0,792M_{45} = -46,648$$

$$0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -46,648$$

i = 4

$$\varphi_{43} = -\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}M_{43} + \alpha_{43}^0 \quad (32)$$

$$\varphi_{45} = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}M_{54} + \alpha_{45}^0 \quad (33)$$

Yhteensopivuuden perusteella on oltava $\varphi_{43} = \varphi_{45}$, josta muodostuu yhtälö:

$$-\beta_{43}M_{34} + \alpha_{43}(-M_{45}) + \alpha_{43}^0 = \alpha_{45}M_{45} - \beta_{45}(-M_{56}) + \alpha_{45}^0 \quad (34)$$

$$\beta_{43}M_{34} + (\alpha_{43} + \alpha_{45})M_{45} + \beta_{45}M_{56} = \alpha_{43}^0 - \alpha_{45}^0 \quad (35)$$

- hyötykuormasta

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533M_{56} = -46,648$$

$$0,792M_{34} + (1,583 + 1,067)M_{45} + 0,0,533 * (-4,800) = -46,468$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -46,468 + 4,800$$

$$0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -44,090$$

- yhtälöryhmä hyötykuormista aiheutuille tukimomenteille

$$\begin{cases} 2,200M_{23} + 0,550M_{34} = -4,500 \\ 0,550M_{23} + 2,683M_{34} + 0,792M_{45} = -46,468 \\ 0,792M_{34} + 2,650M_{45} = -44,090 \end{cases} \quad (37)$$

- yhtälöryhmän vakioden matriisi välipohjan hyötykuormasta

$$I = \begin{bmatrix} -4,500 \\ -46,648 \\ -44,090 \end{bmatrix}$$

- tukimomentit hyötykuormasta

$$A^{-1}I = \begin{bmatrix} -1,531 \\ -14,026 \\ -12,446 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} M_{23} &= 1,531 \text{ kNm} \\ M_{34} &= -14,026 \text{ kNm} \\ M_{45} &= -12,446 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tuki	M omapaino	M hyöty	M lumi	M summa	M summa ei lunta
1	0	0	0	0	0
2	-1,706	1,531	0,120	-7,996	-8,116
3	-4,699	-14,026	-0,460	-7,974	-7,514
4	-4,545	-12,446	1,476	-9,510	-8,034
5	-1,876	-4,800	-6,650	-13,326	-6,676

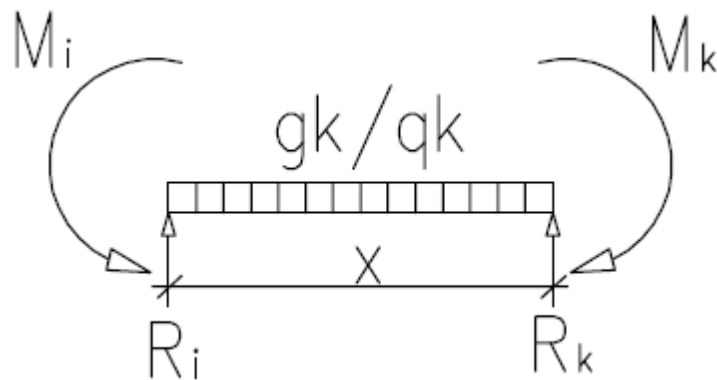
Taulukko 7. Tukimomentit kun sauvalla 3-4 on kenttämomentin maksimiarvo.

Välipohjapalkin kenttämomentit, leikkausvoimat ja tukireaktiot

Seuraavaksi lasketaan välipohjapalkin kenttämomentit, leikkausvoimat ja tukireaktiot. Näistä valitaan maksimiarvot välipohjapalkin mitoitus varten.

Välipohjapalkin jokaiselle tukivälille (sauvalle) laaditaan voimakuvio "Sauva i – k", jossa kirjaimet i ja k tarkoittavat sauvan vasenta ja oikeaa tukea. Jäljempänä olevassa kuvassa on esitetty voimakuvio joka pätee kaikilla välipohjapalkin sauvoilla paitsi ulokesauvalla.

Sauvan tasaiseksi kuormaksi on merkitty **gk/qk** tämä tarkoittaa **oma paino / hyötykuorma**.



Kuva 9. Sauvan i - k voimakuvio.

Sauva 1-2

Laaditaan voimakuvio palkin välille 1- 2 ks. kuva 9.

Ehdot ovat:

Voimakuviota tarkastellaan R_{12} tuen suhteen kenttämomentin arvoa selvittäessä.

Pyörimissuunta on vastapäivä.

Kirjaimella p merkitään tasainen viivakuorma. x – sauvan pituus.

$$\sum M_x = 0 \text{ ja } \sum F_y = 0$$

$$M_{10} + M_{12} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{10} = - M_{12} = M_i$$

$$M_{21} + M_{23} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{21} = - M_{23} = M_k$$

Yhtälöiden ratkaisut ovat voimassa kun:

$$0 > x > 3,0$$

Sauvan 1-2 leikkausvoiman ratkaisukaavat:

leikkausvoima tuella 1

$$Q_{12} = Q_{12}^0 - \frac{M_{12} + M_{21}}{L_{12}}$$

jossa:

Q_{12}^0 kenttäkuormituksesta johtuva leikkausvoima tuelta 1 katsottuna

$$Q_{12}^0 = \frac{px}{2}$$

Leikkausvoima tuella 2

$$Q_{21} = Q_{21}^0 - \frac{M_{12} + M_{21}}{L_{12}}$$

jossa:

Q_{21}^0 kenttäkuormituksesta johtuva leikkausvoima tuelta 2 katsottuna

$$Q_{21}^0 = -\frac{px}{2}$$

Sauvan 1-2 kenttämomentin maksimiarvo:

- leikkausvoiman nollakohta a lasketaan kaavalla:

$$a = \frac{Q_{12}}{p_{12}}$$

- kenttämomentin maksimiarvo lasketaan kaavalla:

$$-M_{12t} + Q_{12}a - \frac{pa^2}{2} - M_{12} = 0$$

$$M_{12t} = Q_{12}a - \frac{pa^2}{2} - M_{12}$$

Lasketaan omasta painosta aiheutuva leikkausvoima ja tukireaktiot

leikkausvoima tuella 1

$$Q_{12op} = \frac{1,655 \frac{kN}{m} * 3m}{2} - \frac{0 + 1,706 kNm}{3m} = 1,914 kN$$

leikkausvoima tuella 2 omasta painosta

$$Q_{21op} = -\frac{1,655 \frac{kN}{m} * 3m}{2} - \frac{0 + 1,706 kNm}{3m} = -3,052 kN$$

Maksimikenttämomentti omasta painosta

$$a = \frac{Q_{12op}}{p_{12op}} = \frac{3,052kN}{1,655 \frac{kN}{m}} = 1,156m$$

$$M_{12opt} = Q_{12op}a - \frac{pa^2}{2} - M_{12op}$$

$$M_{12opt} = 1,914kN * 1,156m - \frac{1,655 \frac{kN}{m} * (1,156m)^2}{2} - 0 = 1,494kNm$$

Lasketaan hyötykuormasta aiheutuva leikkausvoima

leikkausvoima tuella 1 hyötykuormasta

$$Q_{12h} = \frac{4,000 \frac{kN}{m} * 3m}{2} - \frac{0 + 4,716kNm}{3m} = 4,428kN$$

leikkausvoima tuella 2 hyötykuormasta

$$Q_{21h} = -\frac{4,000 \frac{kN}{m} * 3m}{2} - \frac{0 + 4,716}{3m} = -7,572 kN$$

Maksimikenttämomentti hyötykuormasta

$$a = \frac{Q_{12h}}{p_{12h}} = \frac{4,428kN}{4,000 \frac{kN}{m}} = 1,107m$$

$$M_{12ht} = Q_{12h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{12h}$$

$$M_{12ht} = 4,428kN * 1,107m - \frac{4,428 \frac{kN}{m} * (1,107m)^2}{2} - 0 = 2,189kNm$$

Lasketaan lumen painosta aiheutuva leikkausvoima

leikkausvoima tuella 1

$$Q_{12l} = -\frac{0 + (-0,120kNm)}{3m} = 0,040 kN$$

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{21l} = -\frac{0 + (-0,120kNm)}{3m} = 0,040 kN$$

Maksimikenttämomentti lumikuormasta

Koska lumikuorma ei kohdistu sauvalle 1-2 suoraan, leikkausvoimalla ei ole nolla-kohtaa, joten

$$a = x$$

$$M_{12lt} = Q_{12l}x - \frac{px^2}{2} - M_{12}$$

$$M_{12lt} = 0,040kN * x - 0 - 0$$

x (m)	M _{12lt} (kNm)
1	0,040
1,107	0,044
1,156	0,046
3	0,120

Taulukko 8. Kenttämomentin arvot lumikuormasta sauvalla 1-2.

Sauva 2-3

Laaditaan voimakuvio palkin välille 2- 3 ks. kuva 9.

Ehdot ovat:

Voimakuvio tarkastellaan R₂₃ tuen suhteen kenttämomentin arvoa selvittäessä.

Pyörimissuunta on vastapäivä.

Kirjaimella p merkitään tasainen viivakuorma. x – sauvan pituus.

$$\sum M_x = 0 \text{ ja } \sum F_y = 0$$

$$M_{21} + M_{23} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{21} = - M_{23} = M_i$$

$$M_{32} + M_{34} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{32} = - M_{34} = M_k$$

Yhtälöiden ratkaisut ovat voimassa kun:

$$0 > x > 3,3$$

Sauvan 2-3 leikkausvoiman ratkaisukaavat:

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{23} = Q_{23}^0 - \frac{M_{23} + M_{32}}{L_{23}}$$

jossa:

Q_{23}^0 kenttäkuormituksesta johtuva leikkausvoima tuelta 2 katsottuna

$$Q_{23}^0 = \frac{px}{2}$$

Leikkausvoima tuella 3

$$Q_{32} = Q_{32}^0 - \frac{M_{23} + M_{32}}{L_{23}}$$

jossa:

Q_{32}^0 kenttäkuormituksesta johtuva leikkausvoima tuelta 3 katsottuna

$$Q_{32}^0 = -\frac{px}{2}$$

Sauvan 2-3 kenttämomentin maksimiarvo:

- leikkausvoiman nollakohta a lasketaan kaavalla:

$$a = \frac{Q_{23}}{p_{23}}$$

- kenttämomentin maksimiarvo lasketaan kaavalla:

$$-M_{23t} + Q_{23}a - \frac{pa^2}{2} - M_{23} = 0$$

$$M_{23t} = Q_{23}a - \frac{pa^2}{2} - M_{23}$$

Lasketaan omasta painosta aiheutuva leikkausvoima ja tukireaktiot

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{23op} = \frac{2,875 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-1,706kNm + 4,699kNm}{3,3m} = 3,837 kN$$

leikkausvoima tuella 3 omasta painosta

$$Q_{32op} = -\frac{2,875 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-1,706kNm + 4,699kNm}{3,3m} = -5,650 kN$$

Maksimikenttämomentti omasta painosta

$$a = \frac{Q_{23op}}{p_{23op}} = \frac{3,837kN}{2,875 \frac{kN}{m}} = 1,335m$$

$$M_{23opt} = Q_{23op}a - \frac{pa^2}{2} - M_{23op}$$

$$M_{23opt} = 3,837kN * 1,335m - \frac{2,875 \frac{kN}{m} * (1,335m)^2}{2} - 1,706 = 0,854kNm$$

Lasketaan hyötykuormasta aiheutuva leikkausvoima

leikkausvoima tuella 2 hyötykuormasta

$$Q_{23h} = \frac{10,024 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-4,716kNm + 17,646kNm}{3,3m} = 12,621kN$$

leikkausvoima tuella 3 hyötykuormasta

$$Q_{32h} = -\frac{10,024 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-4,716kNm + 17,646kNm}{3,3m} = -20,458kN$$

Maksimikenttämomentti hyötykuormasta

$$a = \frac{Q_{23h}}{p_{23h}} = \frac{12,621kN}{10,024 \frac{kN}{m}} = 1,259m$$

$$M_{23ht} = Q_{23h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{23h}$$

$$M_{23ht} = 12,621kN * 1,259m - \frac{10,024 \frac{kN}{m} * (1,259m)^2}{2} - 4,716kNm = 3,229kNm$$

Lasketaan lumen painosta aiheutuva leikkausvoima

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{23l} = -\frac{0,120 + 0,460kNm}{3,3m} = -0,176kN$$

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{32l} = -\frac{0,120kNm + 0,460kNm}{3m} = -0,176kN$$

Maksimikenttämomentti lumikuormasta

Koska lumikuorma ei kohdistu sauvalle 2-3 suoraan, leikkausvoimalla ei ole nollakohtaa, joten

$$a = x$$

$$M_{23lt} = Q_{23l}x - \frac{px^2}{2} - M_{23}$$

$$M_{23lt} = -0,176kN * x - 0 + 0,120$$

x (m)	M _{23lt} (kNm)
1	-0,056
1,259	-0,101
1,335	-0,115
3,3	-0,046

Taulukko 9. Kenttämomentin arvot lumikuormasta sauvalla 2-3.

Sauva 3-4

Laaditaan voimakuvio palkin välille 3- 4 ks. kuva 9.

Ehdot ovat:

Voimakuvio tarkastellaan R₃₄ tuen suhteen kenttämomentin arvoa selvitetessä.

Pyörimissuunta on vastapäivä.

Kirjaimella p merkitään tasainen viivakuorma. x – sauvan pituus.

$$\sum M_x = 0 \text{ ja } \sum F_y = 0$$

$$M_{32} + M_{34} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{32} = - M_{34} = M_i$$

$$M_{43} + M_{45} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{43} = - M_{45} = M_k$$

Yhtälöiden ratkaisut ovat voimassa kun:

$$0 < x < 4,75$$

Sauvan 3-4 leikkausvoiman ratkaisukaavat:

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{34} = Q_{34}^0 - \frac{M_{34} + M_{43}}{L_{34}}$$

jossa:

$$Q_{34}^0 \quad \text{kenttäkuormituksesta johtuva leikkausvoima tuelta 3 katsottuna}$$

$$Q_{34}^0 = \frac{px}{2}$$

Leikkausvoima tuella 3

$$Q_{43} = Q_{43}^0 - \frac{M_{34} + M_{43}}{L_{34}}$$

jossa:

$$Q_{43}^0 \quad \text{kenttäkuormituksesta johtuva leikkausvoima tuelta 4 katsottuna}$$

$$Q_{43}^0 = -\frac{px}{2}$$

Sauvan 2-3 kenttämomentin maksimiarvo:

- leikkausvoiman nollakohta a lasketaan kaavalla:

$$a = \frac{Q_{34}}{p_{34}}$$

- kenttämomentin maksimiarvo lasketaan kaavalla:

$$-M_{34t} + Q_{34}a - \frac{pa^2}{2} - M_{34} = 0$$

$$M_{34t} = Q_{34}a - \frac{pa^2}{2} - M_{34}$$

Lasketaan omasta painosta aiheutuva leikkausvoima ja tukireaktiot

- leikkausvoima tuella 3

$$Q_{34op} = \frac{2,875 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-4,699kNm + 4,545kNm}{4,75m} = 6,861 kN$$

leikkausvoima tuella 4 omasta painosta

$$Q_{43op} = -\frac{2,875 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-4,699kNm + 4,545kNm}{4,75m} = -6,796 kN$$

Maksimikenttämomentti omasta painosta

$$a = \frac{Q_{34op}}{p_{34op}} = \frac{6,861kN}{2,875 \frac{kN}{m}} = 2,386m$$

$$M_{34opt} = Q_{34op}a - \frac{pa^2}{2} - M_{34op}$$

$$M_{34opt} = 6,861kN * 2,386m - \frac{2,875 \frac{kN}{m} * (2,386m)^2}{2} - 4,699 = 3,487kNm$$

Lasketaan hyötykuormasta aiheutuva leikkausvoima

leikkausvoima tuella 3 hyötykuormasta

$$Q_{34h} = \frac{10,446 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-17,646kNm + 15,412kNm}{4,75m} = 25,280kN$$

leikkausvoima tuella 4 hyötykuormasta

$$Q_{43h} = -\frac{10,446 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-17,646kNm + 15,412kNm}{4,75m} = -24,339kN$$

Maksimikenttämomentti hyötykuormasta

$$a = \frac{Q_{34h}}{p_{34h}} = \frac{25,280kN}{10,446 \frac{kN}{m}} = 2,420m$$

$$M_{34ht} = Q_{34h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{34h}$$

$$M_{34ht} = 25,280kN * 2,420m - \frac{10,446 \frac{kN}{m} * (2,420m)^2}{2} - 17,646kNm = 12,944kNm$$

Lasketaan lumen painosta aiheutuva leikkausvoima

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{34l} = -\frac{-0,460 - 1,476kNm}{4,75m} = 0,408kN$$

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{43l} = -\frac{-0,460 - 1,476kNm}{4,75m} = 0,408 kN$$

Maksimikenttämomentti lumikuormasta

Koska lumikuorma ei kohdistu sauvalle 3-4 suoraan, leikkausvoimalla ei ole nolla-kohtaa, joten

$$a = x$$

$$M_{34lt} = Q_{34l}x - \frac{px^2}{2} - M_{34}$$

$$M_{34lt} = 0,408kN * x - 0 + 0,460kNm$$

x (m)	M _{34lt} (kNm)
1	-0,052
2,380	0,513
2,420	0,526
4,75	1,476

Taulukko 10. Kenttämomentin arvot lumikuormasta sauvalla 3-4.

Sauva 4-5

Laaditaan voimakuvio palkin välille 4- 5 ks. kuva 9.

Ehdot ovat:

Voimakuvio tarkastellaan R_{45} tuen suhteen kenttämomentin arvoa selvitetessä.

Pyörimissuunta on vastapäivä.

Kirjaimella p merkitään tasainen viivakuorma. x – sauvan pituus.

$$\sum M_x = 0 \text{ ja } \sum F_y = 0$$

$$M_{43} + M_{45} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{43} = - M_{45} = M_i$$

$$M_{54} + M_{56} = 0 \quad \Rightarrow \quad M_{54} = - M_{56} = M_k$$

Yhtälöiden ratkaisut ovat voimassa kun:

$$0 > x > 3,2$$

Sauvan 4-5 leikkausvoiman ratkaisukaavat:

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{45} = Q_{45}^0 - \frac{M_{45} + M_{54}}{L_{45}}$$

jossa:

$$Q_{45}^0 \quad \text{kenttäkuormituksesta johtuva leikkausvoima tuelta 4 katsottuna}$$

$$Q_{45}^0 = \frac{px}{2}$$

Leikkausvoima tuella 4

$$Q_{54} = Q_{54}^0 - \frac{M_{45} + M_{54}}{L_{45}}$$

jossa:

$$Q_{54}^0 \quad \text{kenttäkuormituksesta johtuva leikkausvoima tuelta 5 katsottuna}$$

$$Q_{54}^0 = - \frac{px}{2}$$

Sauvan 2-3 kenttämomentin maksimiarvo:

- leikkausvoiman nollakohta a lasketaan kaavalla:

$$a = \frac{Q_{45}}{p_{45}}$$

- kenttämomentin maksimiarvo lasketaan kaavalla:

$$-M_{45t} + Q_{45}a - \frac{pa^2}{2} - M_{45} = 0$$

$$M_{45t} = Q_{45}a - \frac{pa^2}{2} - M_{45}$$

Lasketaan omasta painosta aiheutuva leikkausvoima ja tukireaktiot

- leikkausvoima tuella 4

$$Q_{45op} = \frac{2,875 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-4,545kNm + 1,876kNm}{3,2m} = 5,434 kN$$

leikkausvoima tuella 5 omasta painosta

$$Q_{54op} = -\frac{2,875 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-4,545kNm + 1,876kNm}{3,2m} = -3,766 kN$$

Maksimikenttämomentti omasta painosta

$$a = \frac{Q_{45op}}{p_{45op}} = \frac{5,434kN}{2,875 \frac{kN}{m}} = 1,890m$$

$$M_{45opt} = Q_{45op}a - \frac{pa^2}{2} - M_{45op}$$

$$M_{45opt} = 5,434kN * 1,890m - \frac{2,875 \frac{kN}{m} * (1,890m)^2}{2} - 4,545 = 0,590kNm$$

Lasketaan hyötykuormasta aiheutuva leikkausvoima

leikkausvoima tuella 4 hyötykuormasta

$$Q_{45h} = \frac{7,753 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-15,412kNm + 4,800kNm}{3,2m} = 15,721kN$$

leikkausvoima tuella 4 hyötykuormasta

$$Q_{54h} = -\frac{7,753 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-15,412kNm + 4,800kNm}{3,2m} = -9,089kN$$

Maksimikenttämomentti hyötykuormasta

$$a = \frac{Q_{45h}}{p_{45h}} = \frac{15,721kN}{7,753 \frac{kN}{m}} = 2,028m$$

$$M_{45ht} = Q_{45h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{45h}$$

$$M_{45ht} = 15,721kN * 2,028m - \frac{7,753 \frac{kN}{m} * (2,028m)^2}{2} - 15,412kNm = 0,526kNm$$

Lasketaan lumen painosta aiheutuva leikkausvoima

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{45l} = -\frac{1,476 + 6,650kNm}{3,2m} = -2,539kN$$

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{54l} = -\frac{1,476kNm + 6,650kNm}{3,2m} = -2,539 kN$$

Maksimikenttämomentti lumikuormasta

Koska lumikuorma ei kohdistu sauvalle 4-5 suoraan, leikkausvoimalla ei ole nolla-kohtaa, joten

$$a = x$$

$$M_{45lt} = Q_{45l}x - \frac{px^2}{2} - M_{45l}$$

$$M_{34lt} = -2,539kN * x - 0 + 1,476$$

x (m)	M _{34lt} (kNm)
1	-1,063
1,89	-3,324
2,028	-3,673
3,2	-6,65

Taulukko 11. Kenttämomentin arvot lumikuormasta sauvalla 4-5.

Kenttämomentit ja leikkausvoimat hyötykuormasta kun palkin tuet maksimikuormitettuina.

Tuki 2 on kuormitettu enimmillään ks. kuva 4

Sauva 1-2

leikkausvoima tuella 1

$$Q_{12h} = \frac{4,000 \frac{kN}{m} * 3,0m}{2} - \frac{-0kNm + 8,524kNm}{3,0m} = 3,159kN$$

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{21h} = -\frac{4,000 \frac{kN}{m} * 3,0m}{2} - \frac{-0kNm + 8,524kNm}{3,0m} = -8,841kN$$

Maksimikenttämomentti

$$a = \frac{Q_{12h}}{p_{12h}} = \frac{3,159kN}{4,000 \frac{kN}{m}} = 0,790m$$

$$M_{12ht} = Q_{12h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{12h}$$

$$M_{12ht} = 3,159kN * 0,790m - \frac{4,000 \frac{kN}{m} * (0,790m)^2}{2} - 0kNm = 1,247kNm$$

Sauva 2-3

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{23h} = \frac{10,024 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-8,524kNm + 2,926kNm}{3,3m} = 18,236kN$$

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{32h} = -\frac{10,024 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-8,524kNm + 2,926kNm}{3,3m} = -14,843kN$$

Maksimikenttämomentti

$$a = \frac{Q_{23h}}{p_{23h}} = \frac{3,159kN}{4,000 \frac{kN}{m}} = 1,819m$$

$$M_{23ht} = Q_{23h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{23h}$$

$$M_{23ht} = 18,236kN * 1,819m - \frac{10,024 \frac{kN}{m} * (1,819m)^2}{2} - 8,524kNm = 8,064kNm$$

Sauva 3-4

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{34h} = \frac{0 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-2,926kNm + 3,120kNm}{4,75m} = -0,041kN$$

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{43h} = -\frac{0 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-2,926kNm + 3,120kNm}{4,75m} = -0,041kN$$

Maksimikenttämomentti

Kenttämomentti noudattaa alla olevaa yhtälöä jonka arvot ovat taulukoitu:

$$M_{34ht} = Q_{34h}x - \frac{px^2}{2} - M_{34h}$$

x	M _{34t}
0	-2,926
2,39	-3,024
4,75	-3,120

Taulukko 12. Kenttämomentti sauvalla 3-4.

Sauva 4-5

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{45h} = \frac{7,753 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-3,120kNm + 0kNm}{3,2m} = 13,380kN$$

leikkausvoima tuella 5

$$Q_{54h} = -\frac{7,753 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-3,120kNm + 0kNm}{3,2m} = -11,430kN$$

Maksimikenttämomentti

$$a = \frac{Q_{45h}}{p_{45h}} = \frac{13,380kN}{7,753 \frac{kN}{m}} = 1,726m$$

$$M_{45ht} = Q_{45h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{12h}$$

$$M_{45ht} = 13,380kN * 1,726m - \frac{7,753 \frac{kN}{m} * (1,726m)^2}{2} - 0kNm = 8,425kNm$$

Tapauksessa jossa tuki 2 on kuormitettu enimmillään (ks. kuva 4) ulokkeella ei ole hyötykuormaa, joten siitä ei aiheudu momenttia eikä leikkausvoimaa.

Tuki 3 on kuormitettu enimmillään ks. kuva 5

Sauva 1-2

leikkausvoima tuella 1

$$Q_{12h} = \frac{0 \frac{kN}{m} * 3,0m}{2} - \frac{-0kNm + 2,080kNm}{3,0m} = -0,693kN$$

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{21h} = -\frac{0 \frac{kN}{m} * 3,0m}{2} - \frac{-0kNm + 2,080kNm}{3,0m} = -0,693kN$$

Kenttämomentti noudattaa alla olevaa yhtälöä jonka arvot ovat taulukoitu:

$$M_{12ht} = Q_{12h}x - \frac{px^2}{2} - M_{12h}$$

x	M _{12t}
0	0
1,156	-0,802
3	-2,08

Taulukko 13. Kenttämomentti sauvalla 1-2.

Sauva 2-3

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{23h} = \frac{10,024 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-2,080kNm + 19,351kNm}{3,3m} = 11,305kN$$

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{32h} = -\frac{10,024 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-2,080kNm + 19,351kNm}{3,3m} = -21,773kN$$

Maksimikenttämomentti

$$a = \frac{Q_{23h}}{p_{23h}} = \frac{11,305kN}{10,024 \frac{kN}{m}} = 1,128m$$

$$M_{23ht} = Q_{23h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{23h}$$

$$M_{23ht} = 11,305kN * 1,128m - \frac{10,024 \frac{kN}{m} * (1,128m)^2}{2} - 2,08kNm = 4,296kNm$$

Sauva 3-4

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{34h} = \frac{10,446 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-19,351kNm + 10,850kNm}{4,75m} = 26,599kN$$

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{43h} = -\frac{10,446 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-19,351kNm + 10,850kNm}{4,75m} = -23,020kN$$

Maksimikenttämomentti

$$a = \frac{Q_{34h}}{p_{34h}} = \frac{26,599kN}{10,446 \frac{kN}{m}} = 2,546m$$

$$M_{34ht} = Q_{34h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{34h}$$

$$M_{34ht} = 26,599kN * 2,546m - \frac{10,446 \frac{kN}{m} * (2,546m)^2}{2} - 19,351kNm = 14,514kNm$$

Sauva 4-5

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{45h} = \frac{0 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-10,850kNm + 4,800kNm}{3,2m} = 1,891kN$$

leikkausvoima tuella 5

$$Q_{54h} = -\frac{0 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-10,850kNm + 4,800kNm}{3,2m} = 1,891kN$$

Kenttämomentti noudattaa alla olevaa yhtälöä jonka arvot ovat taulukoitu:

$$M_{45ht} = Q_{45h}x - \frac{px^2}{2} - M_{45h}$$

x	M _{45t}
0	-10,85
1,890	-7,277
3,2	-4,80

Taulukko 14. Kenttämomentti sauvalla 1-2.

Tapauksessa jossa tuki 3 on kuormitettu enimmillään (ks. kuva 5) ulokkeella on hyötykuorma, joka aiheuttaa kenttämomentin ja leikkausvoiman. Katso arvot taulukossa 1.

Tuki 4 on kuormitettu enimmillään ks. kuva 6

Sauva 1-2

leikkausvoima tuella 1

$$Q_{12h} = \frac{4,000 \frac{kN}{m} * 3,0m}{2} - \frac{-0kNm + 1,063kNm}{3,0m} = 5,646kN$$

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{21h} = -\frac{4,000 \frac{kN}{m} * 3,0m}{2} - \frac{-0kNm + 1,063kNm}{3,0m} = -6,354kN$$

Maksimikenttämomentti

$$a = \frac{Q_{12h}}{p_{12h}} = \frac{5,646kN}{4,000 \frac{kN}{m}} = 1,411m$$

$$M_{12ht} = Q_{12h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{12h}$$

$$M_{12ht} = 5,646kN * 1,411m - \frac{4,000 \frac{kN}{m} * (1,411m)^2}{2} - 1,063kNm = 4,296kNm$$

Sauva 2-3

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{23h} = \frac{0 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-1,063kNm + 12,241kNm}{3,3m} = -3,387kN$$

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{32h} = -\frac{0 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-1,063kNm + 12,241kNm}{3,3m} = -3,387kN$$

Kenttämomentti noudattaa alla olevaa yhtälöä jonka arvot ovat taulukoitu:

$$M_{23ht} = Q_{23h}x - \frac{px^2}{2} - M_{23h}$$

x	M _{23t}
0	-1,063
1,335	-5,583
3,3	-12,241

Taulukko 15. Kenttämomentti sauvalla 1-2.

Sauva 3-4

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{34h} = \frac{10,446 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-12,241kNm + 17,943kNm}{4,75m} = 23,609kN$$

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{43h} = -\frac{10,446 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-12,241kNm + 17,943kNm}{4,75m} = -26,010kN$$

Maksimikenttämomentti

$$a = \frac{Q_{34h}}{p_{34h}} = \frac{23,609kN}{10,446 \frac{kN}{m}} = 2,260m$$

$$M_{34ht} = Q_{34h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{34h}$$

$$M_{34ht} = 26,599kN * 2,26m - \frac{10,446 \frac{kN}{m} * (2,26m)^2}{2} - 12,241kNm = 14,280kNm$$

Sauva 4-5

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{45h} = \frac{7,753 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-17,943kNm + 0kNm}{3,2m} = 18,012kN$$

leikkausvoima tuella 5

$$Q_{54h} = -\frac{7,753 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-17,943kNm + 0kNm}{3,2m} = -6,798kN$$

Maksimikenttämomentti

$$a = \frac{Q_{45h}}{p_{45h}} = \frac{18,012kN}{7,753 \frac{kN}{m}} = 2,323m$$

$$M_{45ht} = Q_{45h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{45h}$$

$$M_{45ht} = 18,012kN * 2,323m - \frac{7,753 \frac{kN}{m} * (2,323m)^2}{2} - 17,943kNm = 2,980kNm$$

Tapauksessa jossa tuki 4 on kuormitettu enimmillään (ks. kuva 6) ulokkeella ei ole hyötykuormaa, joten siitä ei aiheudu momenttia eikä leikkausvoimaa.

Tuki 5 on kuormitettu enimmillään ks. kuva 7

Sauva 1-2

leikkausvoima tuella 1

$$Q_{12h} = \frac{0 \frac{kN}{m} * 3,0m}{2} - \frac{-0kNm + 6,410kNm}{3,0m} = -2,137kN$$

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{21h} = -\frac{0 \frac{kN}{m} * 3,0m}{2} - \frac{-0kNm + 6,410kNm}{3,0m} = -2,137kN$$

Kenttämomentti noudattaa alla olevaa yhtälöä jonka arvot ovat taulukoitu:

$$M_{12ht} = Q_{12h}x - \frac{px^2}{2} - M_{12h}$$

x	M _{12t}
0	0
1,156	-0,802
3	-6,41

Taulukko 16. Kenttämomentti sauvalla 1-2.

Sauva 2-3

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{23h} = \frac{10,024 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-6,410kNm + 2,815kNm}{3,3m} = 17,629kN$$

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{32h} = -\frac{10,024 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{-6,410kNm + 2,815kNm}{3,3m} = -15,450kN$$

Maksimikenttämomentti

$$a = \frac{Q_{23h}}{p_{23h}} = \frac{17,629kN}{10,024 \frac{kN}{m}} = 1,756m$$

$$M_{23ht} = Q_{23h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{23h}$$

$$M_{23ht} = 17,629kN * 1,756m - \frac{10,024 \frac{kN}{m} * (1,756m)^2}{2} - 6,410kNm = 9,092kNm$$

Sauva 3-4

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{34h} = \frac{0 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-2,815kNm + 4,965kNm}{4,75m} = -0,453kN$$

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{43h} = -\frac{0 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-2,815kNm + 4,965kNm}{4,75m} = -0,453kN$$

Kenttämomentti noudattaa alla olevaa yhtälöä jonka arvot ovat taulukoitu:

$$M_{34ht} = Q_{34h}x - \frac{px^2}{2} - M_{34h}$$

x	M _{12t}
0	-2,815
2,386	-3,895
4,75	-4,965

Taulukko 17. Kenttämomentti sauvalla 3-4.

Sauva 4-5

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{45h} = \frac{7,753 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-4,965kNm + 4,800kNm}{3,2m} = 12,456kN$$

leikkausvoima tuella 5

$$Q_{54h} = -\frac{7,753 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-4,965kNm + 4,800kNm}{3,2m} = -12,353kN$$

Kenttämomentti noudattaa alla olevaa yhtälöä jonka arvot ovat taulukoitu:

$$a = \frac{Q_{45h}}{p_{45h}} = \frac{12,456kN}{7,753 \frac{kN}{m}} = 1,607m$$

$$M_{45ht} = Q_{45h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{45h}$$

$$M_{45ht} = 12,456kN * 1,607m - \frac{7,753 \frac{kN}{m} * (1,607m)^2}{2} - 4,965kNm = 5,042kNm$$

Tapauksessa jossa tuki 5 on kuormitettu enimmillään (ks. kuva 7) ulokkeella on hyötykuorma, joka aiheuttaa kenttämomentini ja leikkausvoiman. Katso arvot taulukossa 1.

Välipohjapalkin kenttämomentti suurimmillaan sauvalla 3-4

Sauva 1-2

leikkausvoima tuella 1

$$Q_{12h} = \frac{4,000 \frac{kN}{m} * 3,0m}{2} - \frac{-0kNm - 1,531kNm}{3,0m} = 6,510kN$$

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{21h} = -\frac{4,000 \frac{kN}{m} * 3,0m}{2} - \frac{-0kNm - 1,531kNm}{3,0m} = -5,490kN$$

Kenttämomentti noudattaa alla olevaa yhtälöä jonka arvot ovat taulukoitu:

$$a = \frac{Q_{12h}}{p_{12h}} = \frac{6,510kN}{4,000 \frac{kN}{m}} = 1,628m$$

$$M_{12ht} = Q_{12h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{12h}$$

$$M_{12ht} = 4,000kN * 1,628m - \frac{4,000 \frac{kN}{m} * (1,628m)^2}{2} - 0kNm = 5,298kNm$$

Sauva 2-3

leikkausvoima tuella 2

$$Q_{23h} = \frac{0 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{1,531kNm + 14,026kNm}{3,3m} = -4,714kN$$

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{32h} = -\frac{0 \frac{kN}{m} * 3,3m}{2} - \frac{1,531kNm + 14,026kNm}{3,3m} = -4,714kN$$

Kenttämomentti noudattaa alla olevaa yhtälöä jonka arvot ovat taulukoitu:

$$M_{23ht} = Q_{23h}x - \frac{px^2}{2} - M_{23h}$$

x	M _{23t}
0	1,531
1,33	-4,739
3,3	-14,026

Taulukko 18. Kenttämomentti sauvalla 1-2.

Sauva 3-4

leikkausvoima tuella 3

$$Q_{34h} = \frac{10,446 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-14,026kNm + 12,446kNm}{4,75m} = 25,142kN$$

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{43h} = -\frac{10,446 \frac{kN}{m} * 4,75m}{2} - \frac{-14,026kNm + 12,446kNm}{4,75m} = -24,477kN$$

Maksimikenttämomentti

$$a = \frac{Q_{34h}}{p_{34h}} = \frac{25,142kN}{10,446 \frac{kN}{m}} = 2,407m$$

$$M_{23ht} = Q_{23h}a - \frac{pa^2}{2} - M_{23h}$$

$$M_{23ht} = 25,142kN * 2,406m - \frac{10,446 \frac{kN}{m} * (2,406m)^2}{2} - 14,026kNm = 16,230kNm$$

Sauva 4-5

leikkausvoima tuella 4

$$Q_{45h} = \frac{0 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-12,446kNm + 4,800kNm}{3,2m} = 2,389kN$$

leikkausvoima tuella 5

$$Q_{54h} = -\frac{0 \frac{kN}{m} * 3,2m}{2} - \frac{-12,446kNm + 4,800kNm}{3,2m} = 2,389kN$$

Kenttämomentti noudattaa alla olevaa yhtälöä jonka arvot ovat taulukoitu:

$$M_{45ht} = Q_{45h}x - \frac{px^2}{2} - M_{45h}$$

x	M _{45t}
0	-12,446
1,890	-7,930
3,2	-4,80

Taulukko 19. Kenttämomentti sauvalla 1-2.

Välipohjapalkin suurin kenttämomentti tulee olemaan sauvalla 3-4, koska se on pisin ja siihen kohdistuu suurin hyötykuorma (ks. kuva 5).

Taulukoidut tulokset

	Täyskuormitus				Tuki 2 kuormitettu enimmillään			Tuki 3 kuormitettu enimmillään			
	oma	hyöty	lumi	SUMMA	oma	hyöty	SUMMA	oma	hyöty	lumi	SUMMA
M ₁₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M _{12t}	1,494	2,189	0,046	3,729	1,494	1,247	2,741	1,494	-0,802	0,046	0,738
M ₂₃	-1,706	-4,716	0,120	-6,302	-1,706	-8,524	-10,230	-1,706	-2,080	0,120	-3,666
M _{23t}	0,854	3,229	-0,115	3,968	0,854	8,064	8,918	0,854	4,296	-0,115	5,035
M ₃₄	-4,699	-17,646	-0,460	-22,805	-4,699	-2,926	-7,625	-4,699	-19,351	-0,460	-24,510
M _{34t}	3,487	12,944	0,526	16,957	3,487	-3,024	0,463	3,487	14,514	0,526	18,527
M ₄₅	-4,545	-15,412	1,476	-18,481	-4,545	-3,120	-7,665	-4,545	-10,850	1,476	-13,919
M _{45t}	0,590	0,526	-3,678	-2,562	0,590	8,425	9,015	0,590	-7,277	-3,678	-10,365
M ₅₆	-1,876	-4,800	-6,650	-13,326	-1,876	0,000	-1,876	-1,876	-4,800	-6,650	-13,326
	Tuki 4 kuormitettu enimmillään			Tuki 5 kuormitettu enimmillään				Sauvan 3-4 kenttämomentin arvo on suurin			
	oma	hyöty	SUMMA	oma	hyöty	lumi	SUMMA	oma	hyöty	lumi	SUMMA
M ₁₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
M _{12t}	1,494	4,296	5,790	1,494	-0,802	0,046	0,738	1,494	5,298	0,046	6,838
M ₂₃	-1,706	-1,063	-2,769	-1,706	-6,410	0,120	-7,996	-1,706	1,531	0,120	-0,055
M _{23t}	0,854	-5,583	-4,729	0,854	9,092	-0,115	9,831	0,854	-4,739	-0,115	-4,000
M ₃₄	-4,699	-12,264	-16,963	-4,699	-2,815	-0,460	-7,974	-4,699	-14,026	-0,460	-19,185
M _{34t}	3,487	14,438	17,925	3,487	-3,895	0,526	0,118	3,487	16,230	0,526	20,243
M ₄₅	-4,545	-17,943	-22,488	-4,545	-4,965	1,476	-8,034	-4,545	-12,446	1,476	-15,515
M _{45t}	0,590	2,980	3,570	0,590	5,042	-3,678	1,954	0,590	-7,930	-3,678	-11,018
M ₅₆	-1,876	0,000	-1,876	-1,876	-4,800	-6,650	-13,326	-1,876	-4,800	-6,650	-13,326
Taulukossa on esitetty välipohjapalkin kenttä- ja tukimomentit erilaisissa kuormitustapauksissa. Lihavoituna ovat suurin palkin taivutusmomentti ja suurin taivutusmomentti kentällä. Momenttien yksikkönä on kNm.											

Taulukko 20. Välipohjapalkin taivutusmomentin arvot erilaisissa kuormitustapauksissa.

	Täyskuormitus*				Tuki 2 kuormitettu enimmillään			Tuki 3 kuormitettu enimmillään*			
	oma	hyöty	lumi	SUMMA	oma	hyöty	SUMMA	oma	hyöty	lumi	SUMMA
Q12	1,914	4,428	0,040		1,914	3,159		1,914	-0,693	0,040	
R1				6,382			5,073				1,261
Q21	-3,052	-7,572	0,040		-3,052	-8,841		-3,052	-0,693	0,040	
Q23	3,837	12,621	-0,176		3,837	18,230		3,837	11,305	-0,176	
R2	6,889	20,193	-0,216	26,866	6,889	27,071	33,960	6,889	11,998	-0,216	18,671
Q32	-5,650	-20,458	-0,176		-5,650	-14,843		-5,650	-21,773	-0,176	
Q34	6,861	25,280	0,408		6,861	-0,041		6,861	26,599	0,408	
R3	12,511	45,738	0,584	58,833	12,511	14,802	27,313	12,511	48,372	0,584	61,467
Q43	-6,796	-24,339	0,408		-6,796	-0,041		-6,796	-23,020	0,408	
Q45	5,434	15,721	-2,539		5,434	13,380		5,434	1,891	-2,539	
R4	12,230	40,060	-2,947	49,343	12,230	13,421	25,651	12,230	24,911	-2,947	34,194
Q54	-3,766	-9,089	-2,539		-3,766	-11,430		-3,766	1,891	-2,539	
Q56	2,247	6,000	5,115		2,247	0,000		2,247	6,000	5,115	
R5	6,013	15,089	7,654	28,756	6,013	11,430	17,443	6,013	4,109	7,654	17,776
	Tuki 4 kuormitettu enimmillään			Tuki 5 kuormitettu enimmillään*				Sauvan 3-4 kenttämomentin arvo on suurin*			
	oma	hyöty	SUMMA	oma	hyöty	lumi	SUMMA	oma	hyöty	lumi	SUMMA
Q12	1,914	5,646		1,914	-2,137	0,040		1,914	6,510	0,040	
R1			7,560				-0,183				8,464
Q21	-3,052	-6,354		-3,052	-2,137	0,040		-3,052	-5,490	0,040	
Q23	3,837	-3,387		3,837	17,629	-0,176		3,837	-4,714	-0,176	
R2	6,889	2,967	9,856	6,889	19,766	-0,216	26,439	6,889	0,776	-0,216	7,449
Q32	-5,650	-3,387		-5,650	-15,450	-0,176		-5,650	-4,714	-0,176	
Q34	6,861	23,609		6,861	-0,453	0,408		6,861	25,142	0,408	
R3	12,511	26,996	39,507	12,511	14,997	0,584	28,092	12,511	29,856	0,584	42,951
Q43	-6,796	-26,010		-6,796	-0,453	0,408		-6,796	-24,477	0,408	
Q45	5,434	18,012		5,434	12,456	-2,539		5,434	2,389	-2,539	
R4	12,230	44,022	56,252	12,230	12,909	-2,947	22,192	12,230	26,866	-2,947	36,149
Q54	-3,766	-6,798		-3,766	-12,353	-2,539		-3,766	2,389	-2,539	
Q56	2,247	0,000		2,247	6,000	5,115		2,247	6,000	5,115	
R5	6,013	6,798	12,811	6,013	18,353	7,654	32,020	6,013	3,611	7,654	17,278
Taulukossa esitettyjen arvojen yksikkö on kN, suurin tukipaine ja leikkausvoima on lihavoitu. Tapauksissa joissa otsikon lopussa on (*) merkki R2 tukipaineen summaan lisätään 4,95kN.											

Taulukko 21. Välipohjapalkin tukipaineet ja leikkausvoimat erilaisissa kuormitustapauksissa.

Välipohjapalkin mitoitus

Välipohjapalkin mitoitus suoritetaan Eurokoodi 5, EN 1995-1-1 perusteella.

Palkin materiaali ja käyttöolosuhteet

Materiaali on liimapuu GL30c /GL30h

Käyttöluokka 2 [2, 3]

Aikaluokka keskipitkä

Seuraamusluokka CC2

Palkin ominaislujuudet

$f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$	Ominaisaivutuslujuus GL30c
$f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$	Ominaisaivutuslujuus GL30h
$f_{c,0,k} = 25 \text{ N/mm}^2$	Ominaispuristuslujuus syysuuntaan GL30c
$f_{c,0,k} = 30 \text{ N/mm}^2$	Ominaispuristuslujuus syysuuntaan GL30h
$f_{c,90,k} = 3.0 \text{ N/mm}^2$	Ominaispuristuslujuus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan GL30c
$f_{c,90,k} = 3.0 \text{ N/mm}^2$	Ominaispuristuslujuus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan GL30h
$f_{t,0,k} = 20 \text{ N/mm}^2$	Ominaisvetolujuus syysuuntaan GL30c
$f_{t,0,k} = 24 \text{ N/mm}^2$	Ominaisvetolujuus syysuuntaan GL30h
$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$	Ominaisleikkauslujuus GL30c
$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$	Ominaisleikkauslujuus GL30h
$E_{mean} = 13000 \text{ N/mm}^2$	Kimmomoduuli GL30c
$E_{mean} = 13600 \text{ N/mm}^2$	Kimmomoduuli GL30h
$E_{mean} = 10800 \text{ N/mm}^2$	Kimmomoduuli GL30c
$E_{mean} = 11300 \text{ N/mm}^2$	Kimmomoduuli GL30h
$\gamma_M = 1.2$	Liimapuun osavarmuusluku

Palkin kuormat

Mitoitusta varten valitaan suurimmat kuormat jotka ilmaantuvat välipohjan asuintilan kohdalla.

- omapaino neliömetrikuormana

$$g_{k,at} = 0,719 \frac{kN}{m^2}$$

- omapaino viivakuormana

$$s * g_{k,at} = 0,435 \frac{kN}{m} + 4,0m * (0,310 \frac{kN}{m^2} + 0,300 \frac{kN}{m^2}) = 2,875 \frac{kN}{m}$$

- hyötykuorma neliömetrikuormana sauvan 3-4 kohdalla

$$q_{k34} = 2,612 \frac{kN}{m^2}$$

- hyötykuorma sauvan 3-4 kohdalla viivakuormana

$$s * q_{k34} = \frac{Q_{k,1-13} * 6kpl}{L_{34}} = \frac{8,27kN * 6kpl}{4,75m} = 10,446 \frac{kN}{m}$$

- lumikuorma tuella 2

$$Q_{k,1} = 6,600kN$$

- lumikuorma parvekkeella

$$Q_{k,6} = 5,115kN$$

Ominaiskuormien aiheuttamat voimasuureet

$$L_{34} = 4750 \text{ mm} \quad \text{palkin pisimmän ja eniten kuormitetun aukon pituus}$$

$$s = 4000 \text{ mm} \quad \text{palkkijako}$$

Välipohjapalkin maksimimomentti

- omasta painosta

$$M_{g,k} = 4,699 \text{ kNm}$$

- hyötykuormasta

$$M_{q,k} = 19,351 \text{ kNm}$$

- lumikuormasta tuella 3

$$M_{qlumi,k} = 0,460 \text{ kNm}$$

- lumikuormasta maksimimomentti on tuella 5

$$M_{qlumi,k} = 6,650 \text{ kNm}$$

Välipohjapalkin maksimileikkausvoima

- omasta painosta

$$V_{g,k} = 6,861 \text{ kN}$$

- hyötykuormasta

$$V_{q,k} = 26,599 \text{ kN}$$

- lumikuormasta tuella 3

$$V_{qlumi,k} = 0,408 \text{ kN}$$

- lumikuormasta maksimimomentti on tuella 5

$$V_{qlumi,k} = 5,115 \text{ kN}$$

Palkin suurin tukireaktio on R_3 (ks. Liite 1, Taulukko 21)

- oman painon osuus

$$R_{3,op} = 12,511 \text{ kN}$$

- hyötykuorman osuus

$$R_{3,h} = 48,372 \text{ kN}$$

- lumikuorman osuus

$$R_{3,l} = 0,584 \text{ kN}$$

- summa ominaisarvona

$$R_3 = 61,467 \text{ kN}$$

Palkin poikkileikkaus

$$b * h = 215 * 405 \text{ mm}^2 \quad \text{GL30c}$$

$$b * h = 215 * 360 \text{ mm}^2 \quad \text{GL30h}$$

Kuormitusyhdistelmät

Kuormakerroin $K_{fi} = 1$

Pysyvän aikaluokan kuormitusyhdistelmä

- käyttörajatilassa

G_{kj} (omapaino)

- murtorajatilassa

$1,35G_{kj}$

Keskipitkän aikaluokan kuormitusyhdistelmä

- käyttörajatilassa

$G_{kj}(\text{omapaino}) + Q_{k1}(\text{hyöty}) + Q_{k2}(\text{lumi})$

- murtorajatilassa

$1,15G_{kj} + 1,5Q_{k1} + 1,05Q_{k2}$

Pysyvän aikaluokan kuormitusyhdistelmä**Taivutuskestävyys**

Maksimi taivutusmomentti omasta painosta

$$M_d = 1,35 * M_{g,k} = 1,35 * 4,699 \text{ kNm} = 6,344 \text{ kNm}$$

Taivutusjäännitys (mitoitusarvo)

GL30c

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2} = \frac{6 * 6,344 * 10^6 \text{ Nmm}}{215 \text{ mm} * 405^2 \text{ mm}^2} = 1,079 \text{ N/mm}^2$$

GL30h

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2} = \frac{6 * 6,344 * 10^6 \text{ Nmm}}{215 \text{ mm} * 360^2 \text{ mm}^2} = 1,366 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus (mitoitusarvo)

$$k_{mod} = 0,6 \quad [3, \text{ taulukko B.3.1}]$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0,6}{1,2} = 15,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kiepahduspituus

$$l_{ef} = a + 2h = 4750\text{mm} + 2 * 405\text{mm} = 5560\text{mm} \quad \text{GL30c}$$

$$l_{ef} = a + 2h = 4750\text{mm} + 2 * 360\text{mm} = 5470\text{mm} \quad \text{GL30h}$$

Kriittinen taivutusjännitys $\sigma_{m,krit}$ laskettuna klassisen stabiiliusteorian mukaan, kun jäykkyysuureille käytetään 5 prosentin alempaa fraktiilia vastaavia arvoja.

GL30c

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{hl_{ef}} * E_{0,05} = \frac{0,78 * 215^2\text{mm}^2}{405\text{mm} * 5560\text{mm}} * 10800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 172,928 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

GL30h

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{hl_{ef}} * E_{0,05} = \frac{0,78 * 215^2\text{mm}^2}{360\text{mm} * 5470\text{mm}} * 11300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 206,899 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus $\lambda_{rel,m}$

GL30c

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{172,928 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,412$$

GL30h

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{206,899 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,381$$

Kiepahdusriskikerroin k_{crit}

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } 1,4 \leq \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$k_{crit} = 1$ molemmissa tapauksessa

Palkin taivutuskestävyyden mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

GL30c

$$1,079 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1 * 15,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

OK! Käyttöaste on 7,2%

GL30h

$$1,366 \frac{N}{mm^2} < 1 * 15,000 \frac{N}{mm^2}$$

OK! Käyttöaste on 9,1%

Leikkaus

Maksimi leikkausvoima omasta painosta

$$V_d = 1,35V_{g,k} = 1,35 * 6,861kN = 9,262kN$$

Palkin efektiivinen leveys b_{ef}

$$b_{ef} = 0,67b = 0,67 * 215 = 144,5mm$$

Leikkausjännitys

GL30c

$$\tau_d = \frac{3V_d}{2b_{ef} * h} = \frac{3 * 9,262kN}{2 * 144,5mm * 405mm} = 0,237 \frac{N}{mm^2}$$

GL30h

$$\tau_d = \frac{3V_d}{2b_{ef} * h} = \frac{3 * 9,262kN}{2 * 144,5mm * 360mm} = 0,267 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 0,6 \quad [3, \text{taulukko B.3.1}]$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,5 \frac{N}{mm^2} * 0,6}{1,2} = 1,750 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

GL30c

$$0,237 \frac{N}{mm^2} < 1,750 \frac{N}{mm^2}$$

OK! Kestää. Käyttöaste on 13,5%

GL30c

$$0,267 \frac{N}{mm^2} < 1,750 \frac{N}{mm^2}$$

OK! Kestää. Käyttöaste on 15,3%

Tukipainekestävyys palkissa pysyvässä aikaluokassa**Tukireaktio**

$$R_{3,d} = 1,35R_3 = 1,35 * 12,511kN = 16,890kN$$

Puristusjännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d}{bl} = \frac{16,890kN}{215mm * 200mm} = 0,393 \frac{N}{mm^2}$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$k_{mod} = 0,6 \quad [3, \text{taulukko B.3.1}]$$

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,000 \frac{N}{mm^2} * 0,6}{1,2} = 1,500 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuspintojen etäisyys $l_1 > 2h$

$$k_{c,90} = 1,5 \text{ havupuisella liimapuulla}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = l_{tuki} + 30mm + 30mm = 200mm + 30mm + 30mm = 260mm$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l_{tuki}} * k_{c,90} = \frac{260mm}{200mm} * 1,5 = 1,95$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{\perp,90} * f_{c,90,d}$$

$$0,393 \frac{N}{mm^2} < 1,95 * 1,500 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste on 13,4%

OK! Kestää

Keskipitkän aikaluokan kuormitusyhdistelmä**Värähtely**

Värähtelymitoituksen ehto on $f_1 \geq 9\text{Hz}$

Palkin jähyysmomentti

GL30c

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{215\text{mm} * 405^3\text{mm}^3}{12} = 1,19 * 10^9\text{mm}^4 = 1,19 * 10^{-3}\text{m}^4$$

GL30h

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{215\text{mm} * 360^3\text{mm}^3}{12} = 8,36 * 10^8\text{mm}^4 = 8,36 * 10^{-4}\text{m}^4$$

Palkin taivutusjäykkyys EI_L

GL30c

$$EI_L = E_{mean} * I_y = 13 * 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 1,19 * 10^{-3}\text{m}^4 = 15,47 * 10^6\text{Nm}^2$$

GL30c

$$EI_L = E_{mean} * I_y = 13 * 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 8,36 * 10^{-4}\text{m}^4 = 11,37 * 10^6\text{Nm}^2$$

Välipohjan oman painon ja pitkäaikaisen hyötykuorman yhteinen massa yhtä neliömetriä kohti.

$$m = \frac{g_{k,at} + 0,3q_{k34}}{9,81} = \frac{719 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} + 0,3 * 2612 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 153,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Välipohjan ominaistaajuus

GL30c

$$f_1 = \frac{\pi}{2 * L^2} * \sqrt{\frac{EI_L}{s * m}} = \frac{\pi}{2 * 4,75^2\text{m}^2} * \sqrt{\frac{15,47 * 10^6\text{Nm}^2}{4\text{m} * 153,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}} = 11,06\text{Hz}$$

$$11,06\text{Hz} \geq 9\text{Hz}$$

OK! Käyttöaste on 81,5%

GL30h

$$f_1 = \frac{\pi}{2 * L^2} * \sqrt{\frac{EI_L}{s * m}} = \frac{\pi}{2 * 4,75^2 m^2} * \sqrt{\frac{11,37 * 10^6 Nm^2}{4m * 153,2 \frac{kg}{m^2}}} = 9,48 Hz$$

$$9,48 Hz \geq 9 Hz$$

OK! Käyttöaste on 94,8%

Taipuma

Palkin jäyhyysmomentti

GL30c

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{215 mm * 405^3 mm^3}{12} = 1,19 * 10^9 mm^4 = 1,19 * 10^{-3} m^4$$

GL30h

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{215 mm * 360^3 mm^3}{12} = 8,36 * 10^8 mm^4 = 8,36 * 10^{-4} m^4$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista GL30c

$$w_{inst,G} = \frac{5 * s * g_{k,at} * L_{34}^4}{384 * E_{mean} * I_y} = \frac{5 * 4,0 m * 0,719 \frac{kN}{m^2} * 4750^4 mm^4}{384 * 13000 \frac{N}{mm^2} * 1,19 * 10^9 mm^4}$$

$$w_{inst,G} = \frac{5 * 4000 mm * \frac{719 N}{1000000 mm^2} * 4750^4 mm^4}{384 * 13000 \frac{N}{mm^2} * 1,19 * 10^9 mm^4} = 1,23 mm$$

Hetkellinen taipuma pysyvistä kuormista GL30h

$$w_{inst,G} = \frac{5 * s * g_{k,at} * L_{34}^4}{384 * E_{mean} * I_y} = \frac{5 * 4,0 m * 0,719 \frac{kN}{m^2} * 4750^4 mm^4}{384 * 13600 \frac{N}{mm^2} * 8,36 * 10^8 mm^4}$$

$$w_{inst,G} = \frac{5 * 4000 mm * \frac{719 N}{1000000 mm^2} * 4750^4 mm^4}{384 * 13600 \frac{N}{mm^2} * 8,36 * 10^8 mm^4} = 1,67 mm$$

Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista GL30c

$$w_{inst,Q} = \frac{5 * s * q_{k,34} * L_{34}^4}{384 * E_{mean} * I_y} = \frac{5 * 4,0m * 2,612 \frac{kN}{m^2} * 4750^4 mm^4}{384 * 13000 \frac{N}{mm^2} * 1,19 * 10^9 mm^4}$$

$$w_{inst,Q} = \frac{5 * 4000mm * \frac{2612N}{1000000mm^2} * 4750^4 mm^4}{384 * 13000 \frac{N}{mm^2} * 1,19 * 10^9 mm^4} = 4,48mm$$

Hetkellinen taipuma muuttuvista kuormista GL30h

$$w_{inst,Q} = \frac{5 * s * q_{k,34} * L_{34}^4}{384 * E_{mean} * I_y} = \frac{5 * 4,0m * 2,612 \frac{kN}{m^2} * 4750^4 mm^4}{384 * 13600 \frac{N}{mm^2} * 8,36 * 10^8 mm^4}$$

$$w_{inst,Q} = \frac{5 * 4000mm * \frac{2612N}{1000000mm^2} * 4750^4 mm^4}{384 * 13600 \frac{N}{mm^2} * 8,36 * 10^8 mm^4} = 6,09mm$$

Hetkellinen taipuma

GL30c

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{instQ} = 1,23mm + 4,48mm = 5,71mm$$

GL30h

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{instQ} = 1,67mm + 6,09mm = 7,77mm$$

Mitoitusehto

Sallittu taipuma

$$w_{inst} \leq \frac{L_{34}}{400}$$

GL30c

$$5,71mm < \frac{4750mm}{400}$$

Käyttöaste on 48,1% OK!

GL30h

$$7,77mm < \frac{4750mm}{400}$$

Käyttöaste on 65,4% OK!

Lopputaipuma

$$k_{def} = 0,8 \quad [3, \text{taulukko B.3.2}]$$

$$w_{fin} = (1 + k_{def}) * w_{inst,G} + (1 + 0,3k_{def}) * w_{inst,Q}$$

GL30c

$$w_{fin} = (1 + 0,8) * 1,23mm + (1 + 0,3 * 0,8) * 4,48mm = 7,77mm$$

GL30c

$$w_{fin} = (1 + 0,8) * 1,67mm + (1 + 0,3 * 0,8) * 6,09mm = 10,58mm$$

Mitoitusehto

$$w_{fin} \leq \frac{L_{34}}{300}$$

GL30c

$$7,77mm < \frac{4750mm}{300}$$

Käyttöaste on 49,1%

GL30h

$$10,58mm < \frac{4750mm}{300}$$

Käyttöaste on 66,8%

OK! Kestää

Taipuma 1kN:n pistekuormasta

GL30c

$$\sigma_L = \frac{F * L_{34}^3}{48 * EI_L} = \frac{1000N * 4750^3mm^3}{48 * 1,547 * 10^{13}Nmm^2} = 0,144mm$$

GL30h

$$\sigma_L = \frac{F * L_{34}^3}{48 * EI_L} = \frac{1000N * 4750^3mm^3}{48 * 1,137 * 10^{13}Nmm^2} = 0,196mm$$

Poikittaisjäykisteiden vaikutus

$$k_B = 0,5$$

Palkkijaon tihentämisen vaikutus

$$k_s = \sqrt{\frac{s}{0,6}} \geq 0,5$$

$$k_s = 2,81$$

Mitoitusehto

$$k_B * k_s * \sigma_L \leq 0,5mm$$

GL30c

$$0,5 * 2,81 * 0,144mm \leq 0,5mm$$

Käyttöaste on 40,5% OK!

GL30h

$$0,5 * 2,81 * 0,196mm \leq 0,5mm$$

Käyttöaste on 55,2% OK!

Taivutuskestävyys

Maksimi taivutusmomentti omasta painosta

$$M_d = 1,15M_{g,k} + 1,50M_{q,k} + 1,05M_{qlum,k}$$

$$M_d = 1,15 * 4,699kNm + 1,50 * 19,351kNm + 1,05 * 0,460kNm = 34,912 kNm$$

Taivutusjännitys (mitoitusarvo)

GL30c

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2} = \frac{6 * 34,912 * 10^6 Nmm}{215mm * 405^2 mm^2} = 5,940 N/mm^2$$

GL30h

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2} = \frac{6 * 34,912 * 10^6 Nmm}{215mm * 360^2 mm^2} = 7,518 N/mm^2$$

Taivutuslujuus (mitoitusarvo)

$$k_{mod} = 0,8 \quad [3, \text{taulukko B.3.1}]$$

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{30 \frac{N}{mm^2} * 0,8}{1,2} = 20 \frac{N}{mm^2}$$

Kiepahduspituus

$$l_{ef} = a + 2h = 4750\text{mm} + 2 * 405\text{mm} = 5560\text{mm} \quad \text{GL30c}$$

$$l_{ef} = a + 2h = 4750\text{mm} + 2 * 360\text{mm} = 5470\text{mm} \quad \text{GL30h}$$

Kriittinen taivutusjännitys $\sigma_{m,krit}$ laskettuna klassisen stabiiliusteorian mukaan, kun jäykkyys suureille käytetään 5 prosentin alemmaa fraktiilia vastaavia arvoja.

GL30c

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{hl_{ef}} * E_{0,05} = \frac{0,78 * 215^2\text{mm}^2}{405\text{mm} * 5560\text{mm}} * 10800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 172,928 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

GL30h

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78b^2}{hl_{ef}} * E_{0,05} = \frac{0,78 * 215^2\text{mm}^2}{360\text{mm} * 5470\text{mm}} * 11300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 206,899 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Suhteellinen hoikkuus $\lambda_{rel,m}$

GL30c

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{172,928 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,412$$

GL30h

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{206,899 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} = 0,381$$

Kiepahdusriskikerroin k_{crit}

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{kun } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kun } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{kun } 1,4 \leq \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$k_{crit} = 1$$

Palkin taivutuskestävyyden mitoitusehto

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

$$5,940 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1 * 20,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Käyttöaste on 29,7% OK! Kestää

$$7,518 \frac{N}{mm^2} < 1 * 20,000 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste on 37,6% OK! Kestää

Leikkaus

Maksimi leikkausvoima omasta painosta

$$V_d = 1,15V_{g,k} + 1,50V_{q,k} + 1,05V_{q_{lumk,k}}$$

$$V_d = 1,15 * 6,861 kN + 1,50 * 26,599 kN + 1,05 * 0,408 kN = 48,217 kN$$

Palkin efektiivinen leveys b_{ef}

$$b_{ef} = 0,67b = 0,67 * 215 = 144,5 mm$$

Leikkausjännitys

GL30c

$$\tau_d = \frac{3V_d}{2b_{ef} * h} = \frac{3 * 48,217 kN}{2 * 144,5 mm * 405 mm} = 1,236 \frac{N}{mm^2}$$

GL30h

$$\tau_d = \frac{3V_d}{2b_{ef} * h} = \frac{3 * 48,217 kN}{2 * 144,5 mm * 360 mm} = 1,390 \frac{N}{mm^2}$$

Leikkauslujuus

$$k_{mod} = 0,8 \quad [3, \text{taulukko B.3.1}]$$

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,5 \frac{N}{mm^2} * 0,8}{1,2} = 2,333 \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

GL30c

$$1,236 \frac{N}{mm^2} < 2,333 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste on 53%

OK! Kestää

GL30h

$$1,390 \frac{N}{mm^2} < 2,333 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste on 59,6%

OK! Kestää

Tukipainekestävyys palkissa pysyvässä aikaluokassa

Tukireaktio

$$R_{3,d} = 1,15R_{3,g,k} + 1,50R_{3,q,k} + 1,05R_{3,qlumk,k}$$

$$R_{3,d} = 1,15 * 12,511kN + 1,50 * 48,372kN + 1,05 * 0,584kN = 87,559 kN$$

Puristusjäännitys palkissa

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d}{bl} = \frac{87,599kN}{215mm * 200mm} = 2,036 \frac{N}{mm^2}$$

Palkin puristuslujuus syysuuntaa vastaan

$$k_{mod} = 0,8 \quad [3, \text{taulukko B.3.1}]$$

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{3,000 \frac{N}{mm^2} * 0,8}{1,2} = 2,000 \frac{N}{mm^2}$$

Puristuspintojen etäisyys $l_1 > 2h$

$$k_{c,90} = 1,5 \text{ havupuisella liimapuulla}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus

$$l_{c,90,ef} = l_{tuki} + 30mm + 30mm = 200mm + 30mm + 30mm = 260mm$$

Tukipainekerroin

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l_{tuki}} * k_{c,90} = \frac{260mm}{200mm} * 1,5 = 1,95$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{\perp,90} * f_{c,90,d}$$

$$2,036 \frac{N}{mm^2} < 1,950 * 2,000 \frac{N}{mm^2}$$

Käyttöaste on 52,2%

OK! Kestää

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkki, Hirsirakenteinen OKT

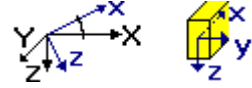
Andrei Stepanov

9.11.2015

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

RIL 205-1-2009 SR1 (02.07.2012)



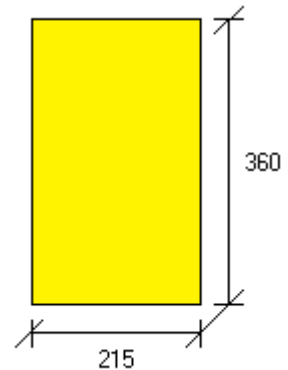
PROJEKTITIEDOT:

Suunnittelija: Andrei Stepanov
 Yritys: Yksityinen
 Projekti: Välipohjapalkki
 Asiakas: Yksityinen
 Nimi: Hirsirakenteinen OKT

C:\Users\Niina\Desktop\lp30h.s01

RAKENNETIEDOT:

Rakennetyyppi: Vapaa rakenne
 Materiaali: GL30h
 Poikkileikkaus: 215x360
 (B=215 mm, H=360 mm, A=77400 mm², I_y=835920000 mm⁴, W_y=4644000 mm³)
 Käyttölukka: 2
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)
 Jako/kuormituslev.: 4000 mm (pintakuormille)



Uloke-/jännevälipituudet:
 Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:
 Jänneväli 1: 3000.0
 Jänneväli 2: 3300.0
 Jänneväli 3: 4750.0
 Jänneväli 4: 3200.0
 Oikea uloke: 1800.0
 Yhteensä: 16050.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	200	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	3000	200	Liukutuki (Z)
3:	6300	200	Liukutuki (Z)
4:	11050	200	Liukutuki (Z)
5:	14250	200	Liukutuki (Z)

f_{m,k} (M_y): 31.57 N/mm²
 f_{m,k} (M_z): 30.00 N/mm²
 f_{c,0,k}: 30.00 N/mm²

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkki, Hirsirakenteinen OKT

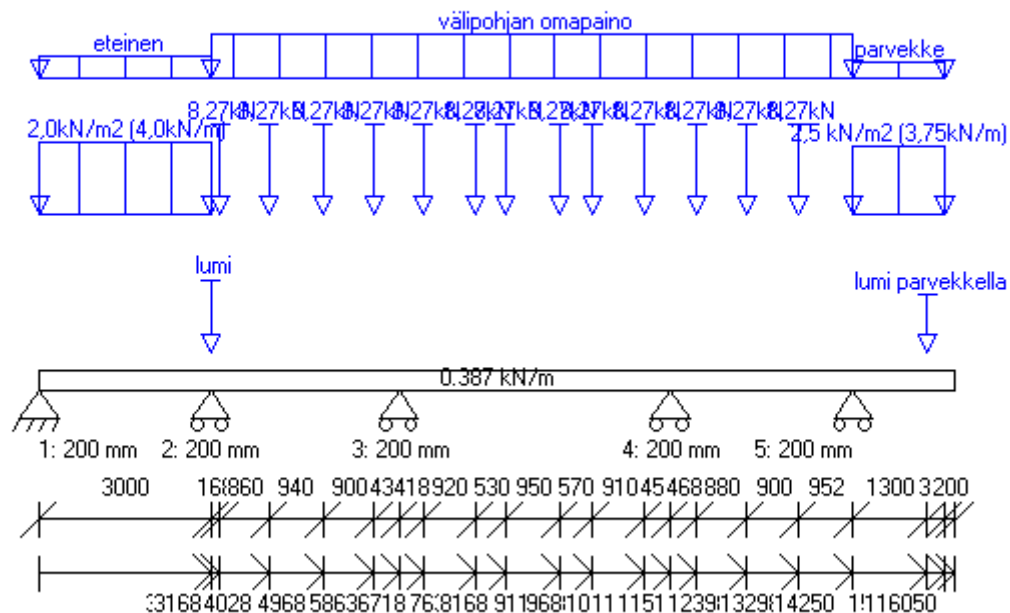
Andrei Stepanov

9.11.2015

$f_{c,90,k}$:	3.00 N/mm ²
$f_{t,0,k}$:	25.26 N/mm ²
$f_{v,k}$ (Vz):	3.50 N/mm ²
$f_{v,k}$ (Vy):	3.50 N/mm ²
E_{mean} :	13600 N/mm ²
G_{mean} :	650 N/mm ²
$E_{0.05}$:	11300 N/mm ²
$G_{0.05}$:	540 N/mm ²
Tilavuuspaino:	5.00 kN/m ³ (omapainon laskentaa varten)

Osavarmuusluku:	1.20
Aikaluokka:	k_{mod} :
Pysyvä:	0.600
Pitkäaikainen:	0.700
Keskipitkä:	0.800
Lyhytaikainen:	0.900
Hetkellinen:	1.100

k_{def} :	0.800
-------------	-------

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakenneosan paino: QZ = 0.387 kN/m x = 0 - 16050 mm

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkki, Hirsirakenteinen OKT

Andrei Stepanov

9.11.2015

viivakuorma: 1:	QZ = 2.440 kN/m	x = 3000 - 14250 mm (välipohjan omapaino)
viivakuorma: 2:	QZ = 1.220 kN/m	x = 0 - 3000 mm (eteinen)
viivakuorma: 3:	QZ = 0.915 kN/m	x = 14250 - 15850 mm (parvekke)

Hyötykuorma (Hyötykuorma A, Keskipitkä, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1:	FZ = 8.27 kN	x = 3168.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 2:	FZ = 8.27 kN	x = 4028.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 3:	FZ = 8.27 kN	x = 4968.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 4:	FZ = 8.27 kN	x = 5868.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 5:	FZ = 8.27 kN	x = 6718.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 6:	FZ = 8.27 kN	x = 7638.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 7:	FZ = 8.27 kN	x = 8168.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 8:	FZ = 8.27 kN	x = 9118.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 9:	FZ = 8.27 kN	x = 9688.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 10:	FZ = 8.27 kN	x = 10598.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 11:	FZ = 8.27 kN	x = 11518.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 12:	FZ = 8.27 kN	x = 12398.0 mm (8,27kN)
Pistekuorma: 13:	FZ = 8.27 kN	x = 13298.0 mm (8,27kN)
viivakuorma: 1:	QZ = 3.750 kN/m	x = 14250 - 15850 mm (2,5 kN/m2 (3,75kN/m))
viivakuorma: 2:	QZ = 4.000 kN/m	x = 0 - 3000 mm (2,0kN/m2 (4,0kN/m))

Lumikuorma (Lumikuorma Sk<2.75 kN/m2, Keskipitkä):

Pistekuorma: 1:	FZ = 5.17 kN	x = 15550.0 mm (lumi parvekkella)
Pistekuorma: 2:	FZ = 6.60 kN	x = 3000.0 mm (lumi)

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)

1.00*1.35*Omapaino

Yhdistelmä 2 (MRT, Keskipitkä)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Hyötykuorma

Yhdistelmä 3 (MRT, Keskipitkä)

0.90*Omapaino + 1.00*1.50*Hyötykuorma

Yhdistelmä 4 (MRT, Keskipitkä)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Hyötykuorma + 1.00*1.50*0.70*Lumikuorma

Yhdistelmä 5 (MRT, Keskipitkä)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*0.70*Hyötykuorma + 1.00*1.50*Lumikuorma

Yhdistelmä 8 (MRT, Keskipitkä)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*0.70*Hyötykuorma + 1.00*1.50*0.70*Lumikuorma

Yhdistelmä 9 (MRT, Pysyvä)

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkki, Hirsirakenteinen OKT

Andrei Stepanov

9.11.2015

1.00*1.15*Omapaino

Yhdistelmä 10 (MRT, Pysyvä)

0.90*Omapaino

Yhdistelmä 13 (KRT)

1.00*Omapaino

Yhdistelmä 14 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma

Yhdistelmä 15 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma + 1.00*0.70*Lumikuorma

Yhdistelmä 16 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Hyötykuorma + 1.00*Lumikuorma

Yhdistelmä 17 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*0.70*Hyötykuorma + 1.00*0.70*Lumikuorma

MITOITUS:

Mitoitusstandardi: EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009

Kokonaiskäyttöaste: 95.0 %

MITOITUSPARAMETRIT:

Taipumaraja Winst: L/400

Taipumaraja Wnet,fin: L/300

Taipumaraja Wq,inst: L/400

Taipumaraja Wg,inst: L/400

Korotuserroin, vasen uloke: 2.00

Korotuserroin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus z-suuntaan: $L_c = 1.00 \cdot L$ Nurjahdus y-suuntaan: $L_c = 1.00 \cdot L$ Kiepahdus taivutuksesta M_y (y-askelin suhteen):Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella: L_{k1} = Päätukien välimatkaKiepahdustukiväli rakenteen alapuolella: L_{k2} = Päätukien välimatka $L_{ef1} = L_{k1}$ ja $L_{ef2} = L_{k2}$ (Esim. kuormitus neutraaliakselilla/kiepahdustukien kautta)HUOM! L_{k1} :ta käytetään, kun $M_y > 0$ ja L_{k2} :ta, kun $M_y < 0$

VÄRÄHTELYN LASKENTA-ASETUKSET:

Huoneen suurin mitta L [m]: 8

Lattiarakenteen leveys B [m]: 8

Välipohjan tuentatapa: 2 reunaa tuettu

Ulokkeen lyhennys [mm]: 0.0

Poikkittaisjäykisteet: Ei jäykisteitä

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkki, Hirsirakenteinen OKT

Andrei Stepanov

9.11.2015

Yläpuolinen lattialevy / rakenne: Ei huomioida
 Liittorakennevaikutus: Ei liittovaikutusta
 Kelluva rakenne / poikittaiskoolaus+levytys: Ei kelluvaa rakennetta
 Alapuoliset poikittaiskoolaukset: Ei alapuolista poikittaiskoolausta
 Pinta-alayksikön massa [kg/m²]: 153
 HUOM! Lattiapalkin jatkuvuus on huomioitu laskelmissa käyttämällä ekvivalentteja jännevälejä seuraavasti:
 Reunajännevälit 0.90xL, sisäjänneväli(t) 0.82xL
 HUOM! "Ulokkeen lyhennys" tarkoittaa ulokkeen kävelylle altistumatonta aluetta

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	48.30 kN	120.40 kN	40.1 %	6300 mm	Yhdistelmä 4/8, Keskipitkä
Taivutus (My):	35.50 kNm	97.75 kNm	36.3 %	6300 mm	Yhdistelmä 4/8, Keskipitkä
(ilman kiepahdusta):	35.50 kNm	97.75 kNm	36.3 %	6300 mm	Yhdistelmä 4/8, Keskipitkä
Tukipaine, tuki 1:	12.04 kN	148.35 kN	8.1 %	0 mm	Yhdistelmä 4/3, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.73					
Tukipaine, tuki 2:	57.08 kN	167.70 kN	34.0 %	3000 mm	Yhdistelmä 4/18, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.95					
Tukipaine, tuki 3:	85.92 kN	167.70 kN	51.2 %	6300 mm	Yhdistelmä 4/8, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.95					
Tukipaine, tuki 4:	83.37 kN	167.70 kN	49.7 %	11050 mm	Yhdistelmä 2/9, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.95					
Tukipaine, tuki 5:	40.53 kN	167.70 kN	24.2 %	14250 mm	Yhdistelmä 4/17, Keskipitkä
Tukipainekerroin = 1.95					
jänneväli 1, Wq,inst:	0.5 mm	7.5 mm	7.0 %	1605 mm	Yhdistelmä 15/3
jänneväli 1, Winst:	0.6 mm	7.5 mm	8.4 %	1605 mm	Yhdistelmä 15/3
jänneväli 1, Wg,inst:	0.1 mm	7.5 mm	1.4 %	1204 mm	Yhdistelmä 15/9
jänneväli 1, Wnet,fin:	0.8 mm	10.0 mm	8.4 %	1605 mm	Yhdistelmä 15/3
jänneväli 2, Wq,inst:	1.0 mm	8.2 mm	12.5 %	4815 mm	Yhdistelmä 14/3
jänneväli 2, Winst:	1.1 mm	8.2 mm	13.7 %	4815 mm	Yhdistelmä 14/3
jänneväli 2, Wg,inst:	0.1 mm	8.2 mm	1.3 %	4414 mm	Yhdistelmä 14/1
jänneväli 2, Wnet,fin:	1.5 mm	11.0 mm	13.2 %	4815 mm	Yhdistelmä 14/3
jänneväli 3, Wq,inst:	3.8 mm	11.9 mm	32.2 %	8828 mm	Yhdistelmä 15/3
jänneväli 3, Winst:	4.6 mm	11.9 mm	38.3 %	8828 mm	Yhdistelmä 15/3
jänneväli 3, Wg,inst:	0.7 mm	11.9 mm	6.1 %	8828 mm	Yhdistelmä 15/3
jänneväli 3, Wnet,fin:	6.0 mm	15.8 mm	38.2 %	8828 mm	Yhdistelmä 15/3
jänneväli 4, Wq,inst:	-1.2 mm	8.0 mm	15.1 %	12439 mm	Yhdistelmä 15/3
jänneväli 4, Winst:	1.2 mm	8.0 mm	15.1 %	12840 mm	Yhdistelmä 14/3
jänneväli 4, Wg,inst:	0.1 mm	8.0 mm	1.0 %	12840 mm	Yhdistelmä 14/3
jänneväli 4, Wnet,fin:	1.5 mm	10.7 mm	14.4 %	12840 mm	Yhdistelmä 14/3
Oikea uloke, Wq,inst:	3.5 mm	9.0 mm	39.0 %	16050 mm	Yhdistelmä 15/3
Oikea uloke, Winst:	3.7 mm	9.0 mm	41.2 %	16050 mm	Yhdistelmä 15/3
Oikea uloke, Wg,inst:	0.2 mm	9.0 mm	2.2 %	16050 mm	Yhdistelmä 14/2
Oikea uloke, Wnet,fin:	4.7 mm	12.0 mm	39.1 %	16050 mm	Yhdistelmä 15/3
Taipuma U:	0.5 mm	0.5 mm	95.0%	(Värähtelytarkastelu)	
Taajuus f1:	9.5 Hz	9.0 Hz	94.8%	(Värähtelytarkastelu)	

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 4/8 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 2 + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 3 + 1.50*Hyötykuorma, Oikea uloke + 1.05*Lumikuorma

Yhdistelmä 4/3 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 3 + 1.50*Hyötykuorma, Oikea uloke + 1.05*Lumikuorma

Yhdistelmä 4/18 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 2 + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 4 + 1.05*Lumikuorma

Yhdistelmä 2/9 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 3 + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 4

Yhdistelmä 4/17 (Keskipitkä):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 2 + 1.50*Hyötykuorma, jänneväli 4 + 1.50*Hyötykuorma, Oikea uloke + 1.05*Lumikuorma

Yhdistelmä 15/3 :

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 3 + 1.00*Hyötykuorma, Oikea uloke + 0.70*Lumikuorma

Yhdistelmä 15/9 :

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 3 + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 4 + 0.70*Lumikuorma

Yhdistelmä 14/3 :

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 2 + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 4

Yhdistelmä 14/1 :

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 2 + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 3 + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 4 +

1.00*Hyötykuorma, Oikea uloke

Yhdistelmä 14/2 :

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 1 + 1.00*Hyötykuorma, jänneväli 3 + 1.00*Hyötykuorma, Oikea uloke

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
V _{z,max}	48.30 kN	6300 mm
M _{y,max}	35.50 kNm	6300 mm

TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRT _{max} :	MRT _{min} :	KRT _{max} :	KRT _{min} :
1:	12.04 kN	-1.25 kN	8.46 kN	-0.09 kN
2:	57.08 kN	-4.73 kN	39.63 kN	-0.46 kN
3:	85.92 kN	6.50 kN	60.15 kN	9.26 kN
4:	83.37 kN	5.07 kN	58.39 kN	6.19 kN
5:	40.53 kN	-1.39 kN	28.39 kN	1.41 kN

- Tukipisteisiin syntyy nostetta, varmista ankkurointi

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

Kuormitustapaus:	Omapaino
Tuki:	FZ [kN]:
1:	1.85
2:	6.74

3:	12.30
4:	12.05
5:	5.85

Kuormitustapaus:	Hyötykuorma, jänneväli 1
Tuki:	FZ [kN]:
1:	5.24
2:	7.60
3:	-0.98
4:	0.19
5:	-0.05

Kuormitustapaus:	Hyötykuorma, jänneväli 2
Tuki:	FZ [kN]:
1:	-1.81
2:	20.06
3:	16.06
4:	-1.64
5:	0.42

Kuormitustapaus:	Hyötykuorma, jänneväli 3
Tuki:	FZ [kN]:
1:	1.31
2:	-7.04
3:	30.95
4:	28.78
5:	-4.39

Kuormitustapaus:	Hyötykuorma, jänneväli 4
Tuki:	FZ [kN]:
1:	-0.14
2:	0.76
3:	-2.06
4:	17.38
5:	8.87

Kuormitustapaus:	Hyötykuorma, Oikea uloke
Tuki:	FZ [kN]:
1:	0.03
2:	-0.16
3:	0.42
4:	-2.13
5:	7.83

Kuormitustapaus:	Lumikuorma
Tuki:	FZ [kN]:

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkki, Hirsirakenteinen OKT

Andrei Stepanov

9.11.2015

1:	0.04
2:	6.38
3:	0.59
4:	-2.98
5:	7.74

HUOMIOT:

-
- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosan A1:2008 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2009 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
 - VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03937-12)
 - MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
 - *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
 - Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
 - Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
 - Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
 - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajalamitoituksessa
 - Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
 - Värähtelyn minimoimiseksi tulee varmistaa ankkurointi myös välituella/tuilla
 - Rakenneseosan koon vaikutus lujuuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
 - Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetailihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja
-

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneseosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkin tukipalkki, Hirsirakenteinen OKT

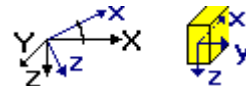
Andrei Stepanov

28.2.2016

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

RIL 205-1-2009 SR1 (02.07.2012)



PROJEKTITIEDOT:

Suunnittelija: Andrei Stepanov
 Yritys: Yksityinen
 Projekti: Välipohjapalkin tukipalkki
 Asiakas: Andrei Stepanov

Nimi: Hirsirakenteinen OKT

C:\tukipalkki27_2.s01

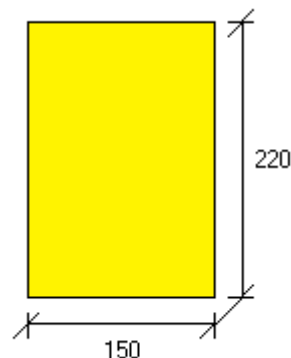
RAKENNETIEDOT:

Rakenneytppi: Lattiapalkki/laatta
 Materiaali: C30
 Poikkileikkaus: 150x220
 (B=150 mm, H=220 mm, A=33000 mm², I_y=133100000 mm⁴, W_y=1210000 mm³)
 Käyttöluokka: 1
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)
 Jako/kuormituslev.: 300 mm (pintakuomille)

Uloke-/jännevälipituudet:
 Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:
 Jänneväli 1: 2200.0
 Yhteensä: 2200.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	140	Kiinteä niveltuki (X,Z)
2:	2200	140	Liukutuki (Z)

f _{m,k} (M _y):	30.00 N/mm ²
f _{m,k} (M _z):	30.00 N/mm ²
f _{c,0,k} :	23.00 N/mm ²
f _{c,90,k} :	2.70 N/mm ²
f _{t,0,k} :	18.00 N/mm ²
f _{v,k} (V _z):	4.00 N/mm ²
f _{v,k} (V _y):	4.00 N/mm ²
E _{mean} :	12000 N/mm ²
G _{mean} :	750 N/mm ²
E 0.05:	8000 N/mm ²



Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkin tukipalkki, Hirsirakenteinen OKT

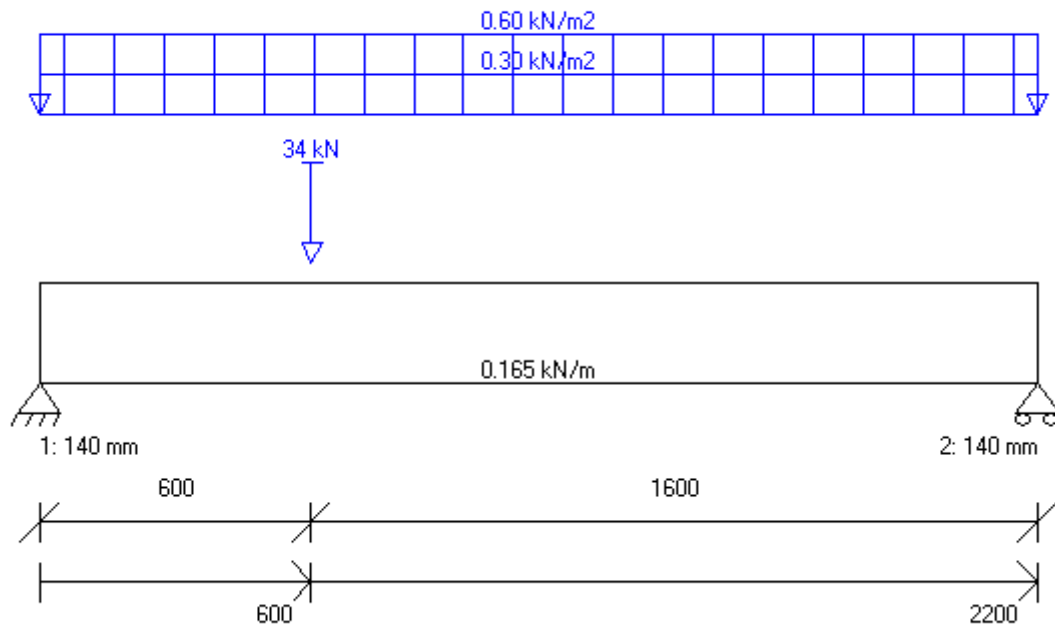
Andrei Stepanov

28.2.2016

G 0.05: 500 N/mm²
 Tilavuuspaino: 5.00 kN/m³ (omapainon laskentaa varten)

Osavamuusluku: 1.40
 Aikaluokka: kmod:
 Pysyvä: 0.600
 Pitkäaikainen: 0.700
 Keskipitkä: 0.800
 Lyhytaikainen: 0.900
 Hetkellinen: 1.100

kdef: 0.600

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakenneosan paino: QZ = 0.165 kN/m x = 0 - 2200 mm
 Pintakuorma: 1: QZ = 0.600 kN/m² x = 0 - 2200 mm
 Pintakuorma: 2: QZ = 0.300 kN/m² x = 0 - 2200 mm

Hyötyk. pistekuormatark. (Hyötykuorma, lyhytaikainen, Lyhytaikainen, MRT/KRT-liikkuvuus = 100.0 %):

Pistekuorma: 1: FZ = 34.00 kN x = 600.0 mm (34 kN)

KUORMITUSYHDISTELMÄT:

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkin tukipalkki, Hirsirakenteinen OKT

Andrei Stepanov

28.2.2016

Yhdistelmä 1 (MRT, Pysyvä)

1.00*1.35*Omapaino

Yhdistelmä 2 (MRT, Pysyvä)

1.00*1.15*Omapaino

Yhdistelmä 3 (MRT, Pysyvä)

0.90*Omapaino

Yhdistelmä 11 (MRT, Lyhytaikainen)

1.00*1.15*Omapaino + 1.00*1.50*Hyötyk. pistekuormatark.

Yhdistelmä 12 (MRT, Lyhytaikainen)

0.90*Omapaino + 1.00*1.50*Hyötyk. pistekuormatark.

Yhdistelmä 13 (KRT)

1.00*Omapaino

Yhdistelmä 18 (KRT)

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötyk. pistekuormatark.

MITOITUS:

Mitoitusstandardi:

EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + RIL 205-1-2009

Kokonaiskäyttöaste:

99.3 %

MITOITUSPARAMETRIT:

Taipumaraja Winst: L/400

Taipumaraja Wnet,fin: L/300

Korotuserroin, vasen uloke: 2.00

Korotuserroin, oikea uloke: 2.00

Nurjahdus on estetty molempiin suuntiin (y ja z)

Kiepahdus taivutuksesta My (y-askelin suhteen):

Kiepahdustukiväli rakenteen yläpuolella: Lk1 = 300.00 mm

Kiepahdustukiväli rakenteen alapuolella: Lk2 = Päätukien välimatka

Lef1 = Lk1 ja Lef2 = Lk2 (Esim. kuormitus neutraaliakselilla/kiepahdustukien kautta)

HUOM! Lk1:ta käytetään, kun My>0 ja Lk2:ta, kun My<0

Väärhtelymitoitusta ei ole tehty

MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	37.64 kN	37.90 kN	99.3 %	0 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen
Taivutus (My):	22.49 kNm	23.34 kNm	96.4 %	600 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen
(ilman kiepahdusta):	22.49 kNm	23.34 kNm	96.4 %	600 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen
Tukipaine, tuki 1:	37.64 kN	55.33 kN	68.0 %	0 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkin tukipalkki, Hirsirakenteinen OKT

Andrei Stepanov

28.2.2016

Tukipainekerroin = 1.52

Tukipaine, tuki 2:	14.46 kN	55.33 kN	26.1 %	2200 mm	Yhdistelmä 11/1, Lyhytaikainen
--------------------	----------	----------	--------	---------	--------------------------------

Tukipainekerroin = 1.52

jänneväli 1, Winst:	4.2 mm	5.5 mm	76.1 %	935 mm	Yhdistelmä 18/1
---------------------	--------	--------	--------	--------	-----------------

jänneväli 1, Wnet,fin:	4.2 mm	7.3 mm	57.9 %	935 mm	Yhdistelmä 18/1
------------------------	--------	--------	--------	--------	-----------------

ÄÄRIARVOJEN KUORMITUSYHDISTELMÄT

Yhdistelmä 11/1 (Lyhytaikainen):

1.15*Omapaino + 1.50*Hyötyk. pistekuormatark.

Yhdistelmä 18/1 :

1.00*Omapaino + 1.00*Hyötyk. pistekuormatark.

VOIMASUUREIDEN ÄÄRIARVOT:

Tulos:	Maksimiarvo:	Sijainti x:
Vz,max	37.64 kN	0 mm
My,max	22.49 kNm	600 mm

TUKIREAKTIOT:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	37.64 kN	0.43 kN	25.21 kN	0.48 kN
2:	14.46 kN	0.43 kN	9.75 kN	0.48 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

TUKIREAKTIOT KUORMITUSTAPAUKSITTAIN (OMINAISARVOT):

Kuormitustapaus:	Omapaino
Tuki:	FZ [kN]:
1:	0.48
2:	0.48

Kuormitustapaus:	Hyötyk. pistekuormatark.
Tuki:	FZ [kN]:
1:	24.73
2:	9.27

HUOMIOT:

- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosan A1:2008 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä RIL 205-1-2009 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
- VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03937-12)
- MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
- *) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
- Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
- Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin

Finnwood 2.3 SR1 (2.4.017)

© Copyright 2012 Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood

Yksityinen

Välipohjapalkin tukipalkki, Hirsirakenteinen OKT

Andrei Stepanov

28.2.2016

-
- Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
 - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
 - Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
 - Rakenneosan koon vaikutus lujuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
 - Rakenneosan mahdollinen halkeilu käyttöluokassa 1 on huomioitu kertoimella kcr, joka on mukana leikkauslujuuden mitoitusarvossa fv,d
 - Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetaljeihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja
-

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

Pilarin materiaali ja käyttöolosuhteet

Materiaali on liimapuu GL30c

Käyttöluokka	1
Aikaluokka	keskipitkä
Seuraamusluokka	CC2

Palkin ominaislujuudet

$f_{m,k} = 30 \text{ N/mm}^2$	Ominaistaivutuslujuus
$f_{c,0,k} = 25 \text{ N/mm}^2$	Ominaispuristuslujuus syysuuntaan
$f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$	Ominaispuristuslujuus kohtisuoraan syysuuntaa vastaan
$f_{t,0,k} = 20 \text{ N/mm}^2$	Ominaisvetolujuus syysuuntaan
$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$	Ominaisleikkauslujuus
$E_{mean} = 13000 \text{ N/mm}^2$	Kimmomoduuli
$\gamma_M = 1,2$	Liimapuun osavarmuusluku

Pilarin mitoituskuorma

Pilarin mitoitusta varten käytetään välipohjapalkin kolmannen tuen R_3 tukireaktiota (sen mitoitusarvoa). Taivutusmomenttia ei ole, koska pilari sijaitsee keskellä olohuonetta ja pilarin molemmissa päissä on niveltuenta.

$$N_d = R_{3,d} = 87,559 \text{ kN}$$

Pilarin puristusjännitys

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{87559 \text{ N}}{200 * 200 \text{ mm}^2} = 2,189 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoituspuristusjännitys

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 * \frac{25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,2} = 16,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Pilarin nurjahduspituus

$$L_{c,z} = 1 * L_{pilari} = 1 * 2500 \text{ mm} \quad [4, \text{ sivu } 157, \text{ kuva } 43]$$

Jäyhyysäde

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{200\text{mm}}{\sqrt{12}} = 57,74\text{mm}$$

Pilarin hoikkuusluku

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{2500\text{mm}}{57,74\text{mm}} = 43,3$$

43,3 < 200 OK!

Nurjahduskerroin

$$k_{c,y} = 0,94 \quad [3, \text{kuva } 5,5]$$

Mitoitusehto

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} = \frac{2,189 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,94 * 16,67 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 0,14$$

0,14 < 1 OK! Käyttöaste 14%

Pyöröhirsiseinän mittatiedot

Mittojen sijoitus on esitetty työn raportissa kuvassa 8.

$$R = 112,5 \text{ mm}$$

pyöröhirren säde

$$h = 170 \text{ mm}$$

hirren korkeus

$$d = 37,5 \text{ mm}$$

pyöröhirren kyljen pyöristetyn osan paksuus

$$d_1 = 150 \text{ mm}$$

pyöröhirren keskiosan leveys

Lasketaan hirren pinta-ala

- lasketaan kulma α ks. työn raportissa esitetty kaava 4

$$\alpha = 4 * \arctan\left(\frac{2*d}{h}\right) = 4 * \arctan\left(\frac{2*40\text{mm}}{165\text{mm}}\right) = 103,47^\circ$$

- lasketaan hirren pinta-ala ks. työn raportissa esitetty kaava 3

$$A = \frac{R^2}{2} * \left(\frac{\alpha}{180^\circ} * \pi - \sin\alpha\right) = \frac{112,5^2\text{mm}^2}{2} * \left(\frac{\alpha}{180^\circ} * \pi - \sin\alpha\right) = 5273\text{mm}^2$$

- lasketaan pyöröhirren pyöristetyn kyljen tehollinen paksuus ks. työn raportissa esitetty kaava 5

$$d_2 = \frac{A}{h} = \frac{5273\text{mm}^2}{170\text{mm}} = 30,30\text{mm}$$

- lopuksi lasketaan hirsiseinän tehollinen paksuus ks. työn raportissa esitetty kaava 6

$$d_{ef} = d_1 + 2 * d_2 = 150\text{mm} + 2 * 30,30\text{mm} = 210,6\text{mm}$$

Tekniset tiedot laskentaa varten

$d_{ef} = 210 \text{ mm}$	on hirsiseinän tehollinen paksuus
$d_1 = 30 \text{ mm}$	on välipohjan sisäpinnan verhouslaudan paksuus
$d_2 = 220 \text{ mm}$	on välipohjan tasa-aineisen lämpöeristekerroksen paksuus
$d_3 = 195 \text{ mm}$	on välipohjan epätasa-aineisen rakennekerroksen paksuus
$d_4 = 48 \text{ mm}$	on hirsiseinän lisäeristeen epätasa-aineisen rakennekerroksen paksuus
$d_5 = 24 \text{ mm}$	on hirsiseinän tasa-aineisen lämpöeristekerroksen paksuus
$l_1 = 42 \text{ mm}$	on NR –ristikon alapaarten leveys
$l_2 = 900 \text{ mm}$	on etäisyys NR –ristikoiden keskeltä keskelle
$l_3 = 48 \text{ mm}$	on koolauslankun leveys
$l_4 = 600 \text{ mm}$	on hirsiseinän koolauksen etäisyys keskeltä keskelle

Rakennusaineiden lämmönjohtavuusarvot λ_n (W/mK) :

$\lambda_1 = 0,120$	on puun lämmönjohtavuus
$\lambda_2 = 0,040$	on puhallusvillan lämmönjohtavuus seinässä
$\lambda_3 = 0,039$	on puhallusvillan lämmönjohtavuus yläpohjassa
$\lambda_4 = 0,056$	on Runkoleijonan lämmönjohtavuus

Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus R_{si} ja R_{se} , ($\text{m}^2\text{K/W}$):

$R_{si} = 0,13$	on sisäpuolinen pintavastus vaakasuunnassa
$R_{se} = 0,04$	on ulkopuolinen pintavastus vaakasuunnassa
$R_{si} = 0,10$	on sisäpuolinen pintavastus ylöspäin
$R_{se} = 0,04$	on ulkopuolinen pintavastus alaspäin

Ulkovaipan lämmönläpäisykertoimien arvot lähtötilanteessa**Hirsiseinän nykyinen lämmönläpäisykerroin U_s**

Hirsiseinän lämmönvastus R_{1s} :

$$R_{1s} = \frac{d_{ef}}{\lambda_1} = \frac{0,210 \text{ m}}{0,120 \text{ W/mK}} = 1,750 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Nykyisen hirsiseinän kokonaislämmönvastus R_{Ts} :

$$R_{Ts} = R_{si} + R_{1s} + R_{se} = 0,130 + 1,750 + 0,040 = 1,920 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Nykyisen ulkoseinän lämmönläpäisykerroin U_s :

$$U_s = \frac{1}{R_{Ts}} = \frac{1}{1,920 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)} = 0,520 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Välipohjan nykyinen lämmönläpäisykerroin U_p

Välipohjan paneloinnin lämmönvastus R_{1p} :

$$R_{1p} = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,030 \text{ m}}{0,120 \text{ W/mK}} = 0,250 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Tasa-aineisen lämpöeristekerroksen lämmönvastus R_{2p} :

$$R_{2p} = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,220 \text{ m}}{0,039 \text{ W/mK}} = 5,641 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Epätasa-aineisen kerroksen rakennusmateriaalien suhteelliset osuudet f_1 ja f_2 :

- NR –ristikon suhteellinen osuus f_1 :

$$f_1 = \frac{l_1}{l_2} = \frac{42 \text{ mm}}{900 \text{ mm}} = 0,047$$

- lämpöeristevillan suhteellinen osuus f_2 :

$$f_2 = 1 - f_1 = 1 - 0,047 = 0,953$$

Epätasa-aineisen kerroksen rakennusmateriaalien lämmönvastukset R_{3p} ja R_{4p} :

- NR- ristikon alapaarteen lämmönvastus R_{3p} :

$$R_{3p} = \frac{d_3}{\lambda_1} = \frac{0,195 \text{ m}}{0,120 \text{ W/mK}} = 1,625 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

- lämpöeristevillan lämmönvastus R_{4p} :

$$R_{4p} = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,195 \text{ m}}{0,039 \text{ W/mK}} = 5,000 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Epätasa-aineisen kerroksen lämmönvastus R_{34p} :

$$\frac{1}{R_{34p}} = \frac{f_1}{R_{3p}} + \frac{f_2}{R_{4p}} =>$$

$$R_{34p} = \frac{1}{\frac{f_1}{R_{3p}} + \frac{f_2}{R_{4p}}} = \frac{1}{\frac{0,047}{1,625} + \frac{0,953}{5,000}} = 4,555 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Välipohjan kokonaislämmönvastusarvo R_{Tp} :

$$R_{Tp} = R_{si} + R_{1p} + R_{2p} + R_{34p} + R_{se}$$

$$R_{Tp} = 0,10 + 0,250 + 5,461 + 4,555 + 0,04 = 10,406 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Nykyisen välipohjan lämmönläpäisykerroin U_p :

$$U_p = \frac{1}{R_{Tp}} = \frac{1}{10,406 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)} = 0,096 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Uudet ulkovaipan lämmönläpäisykertoimet

Suomen Rakennusmääräysten osan D3 mukaiset U_{RakMk} -arvot

- lämpimän rakennuksen hirsirakenteiselle ulkoseinälle 0,40 W/m²K
- lämpimän rakennuksen välipohjalle 0,09 W/m²K

Ulkoseinän uusi lämmönläpäisykerroin U_{su}

Hirsiseinän uuden lämmönläpäisykertoimen suunnittelun ehto

$$U_{RakMk} > U_{su} \Rightarrow 0,40 \text{ W/m}^2\text{K} > U_{su}$$

jossa:

U_{RakMk} on rakentamismääräysten mukainen lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo

Hirsiseinän lämmönvastuksen muutos, että pystytään saavuttamaan rakentamismääräysten U -arvon taso

$$R_{\Delta s} = \frac{1}{U_{RakMk}} - \frac{1}{U_s} = \frac{1}{0,40 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} - \frac{1}{0,52 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} = 0,577 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

jossa:

$R_{\Delta s}$ on hirsiseinän lämmönvastusarvon muutos

Lisälämmöneristekerroksen tuleva rakenne

- koolaus kk 600 mm, koolauksessa käytetään mitallistettua sahatavaraa joka on kooltaan 48 x 48 mm²
- koolaus täytetään selluvillalla 48 mm
- koolauksen päälle tulee 24 mm:n paksu Runkoleijona

Lisättävien lämmöneristekerrosten lämmönvastusten arvot

- epätasa-aineisen rakennekerroksen lämmönvastus R_{2su} koolauksen osalta:

$$R_{2su} = \frac{d_4}{\lambda_1} = \frac{0,048 \text{ m}}{0,120 \text{ W/mK}} = 0,400 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

- epätasa-aineisen rakennekerroksen lämmönvastus R_{3su} villan osalta:

$$R_{3su} = \frac{d_4}{\lambda_2} = \frac{0,048 \text{ m}}{0,040 \text{ W/mK}} = 1,200 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Epätasa-aineisen rakennekerroksen rakennusmateriaalien suhteelliset osuudet f_3 ja f_4

- koolauksen suhteellinen osuus f_3 :

$$f_3 = \frac{l_3}{l_4} = \frac{48 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} = 0,08$$

- lämpöeristevillan suhteellinen osuus f_4 :

$$f_4 = 1 - f_3 = 1 - 0,08 = 0,92$$

Epätasa-aineisen rakennekerroksen kokonaislämmönvastus R_{23su}

$$\frac{1}{R_{23su}} = \frac{f_3}{R_{2su}} + \frac{f_4}{R_{3su}} \Rightarrow$$

$$R_{23su} = \frac{1}{\frac{f_3}{R_{2su}} + \frac{f_4}{R_{3su}}} = \frac{1}{\frac{0,080}{0,400} + \frac{0,920}{1,200}} = 1,034 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Runkoleijonan lämmönvastus R_{4su}

$$R_{4su} = \frac{d_5}{\lambda_3} = \frac{0,024 \text{ m}}{0,056 \text{ W/mK}} = 0,429 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Hirsiseinän uusi kokonaislämmönvastus R_{Tsu}

$$R_{Tsu} = R_{si} + R_{1s} + R_{23su} + R_{4su} + R_{se}$$

jossa:

R_{1s} on hirsiseinän lämmönvastus ilman pintavastusten lisäystä

R_{23su} on lisäeristerakenteiden epätasa-aineisen eristekerroksen lämmönvastus

R_{4su} on Runkoleijonan lämmönvastus

$$R_{Tsu} = 0,13 + 1,750 + 1,034 + 0,429 + 0,04 = 3,383 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right)$$

Hirsiseinän uusi lämmönläpäisykerroin U_{su}

$$U_{su} = \frac{1}{R_{Tu}} = \frac{1}{3,383 \left(\frac{m^2 K}{W} \right)} = 0,295 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Välipohjan uusi lämmönläpäisykerroin U_{pu}

Välipohjan uuden lämpöeristyksen suunnittelun ehto

$$U_{RakMk} > U_{pu} \Rightarrow 0,09 \text{ W/m}^2\text{K} > U_{pu}$$

jossa:

U_{RakMk} on rakentamismääräysten mukainen lämmönläpäisykerroin vertailuarvo

Epätasa-aineisen kerroksen rakennusmateriaalien lämmönvastukset R_{3pu} ja R_{4pu}

Kasvatetaan epätasa-aineisen kerroksen paksuutta d_3 :

$$d_{3u} = d_3 + \Delta d = 195 \text{ mm} + 33 \text{ mm} = 228 \text{ mm}$$

jossa:

d_{3u} on välipohjan epätasa-aineisen rakennekerroksen uusi paksuus

Δd on epätasa-aineisen rakennekerroksen paksuuden muutos

- NR- ristikon alapaarteen lämmönvastus R_{3pu} :

$$R_{3pu} = \frac{d_{3u}}{\lambda_1} = \frac{0,228 \text{ m}}{0,120 \text{ W/mK}} = 1,900 \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$$

- lämpöeristevillan lämmönvastus R_{4pu} :

$$R_{4pu} = \frac{d_{3u}}{\lambda_3} = \frac{0,228 \text{ m}}{0,039 \text{ W/mK}} = 5,846 \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$$

Epätasa-aineisen kerroksen lämmönvastus R_{34pu} :

$$\frac{1}{R_{34pu}} = \frac{f_1}{R_{3pu}} + \frac{f_2}{R_{4pu}} \Rightarrow$$

$$R_{34pu} = \frac{1}{\frac{f_1}{R_{3pu}} + \frac{f_2}{R_{4pu}}} = \frac{1}{\frac{0,047}{1,900} + \frac{0,953}{5,846}} = 5,326 \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$$

Välipohjan kokonaislämmönvastusarvo R_{Tpu} :

$$R_{Tpu} = R_{si} + R_{1p} + R_{2p} + R_{34pu} + R_{se}$$

R_{1p} on välipohjan alapinnan paneloinnin lämmönvastus

R_{2p} on välipohjan tasa-aineisen eristekerroksen lämmönvastus

R_{34pu} on välipohjan epätasa-aineisen eristekerroksen lämmönvastus jossa on otettu huomion lisäeristysaineet

$$R_{Tpu} = 0,10 + 0,250 + 5,461 + 5,326 + 0,04 = 11,177 \left(\frac{m^2 K}{W} \right)$$

Välipohjan uusi lämmönläpäisykerroin U_{pu}

$$U_{pu} = \frac{1}{R_{Tvp}} = \frac{1}{11,177 \left(\frac{m^2 K}{W} \right)} = 0,089 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

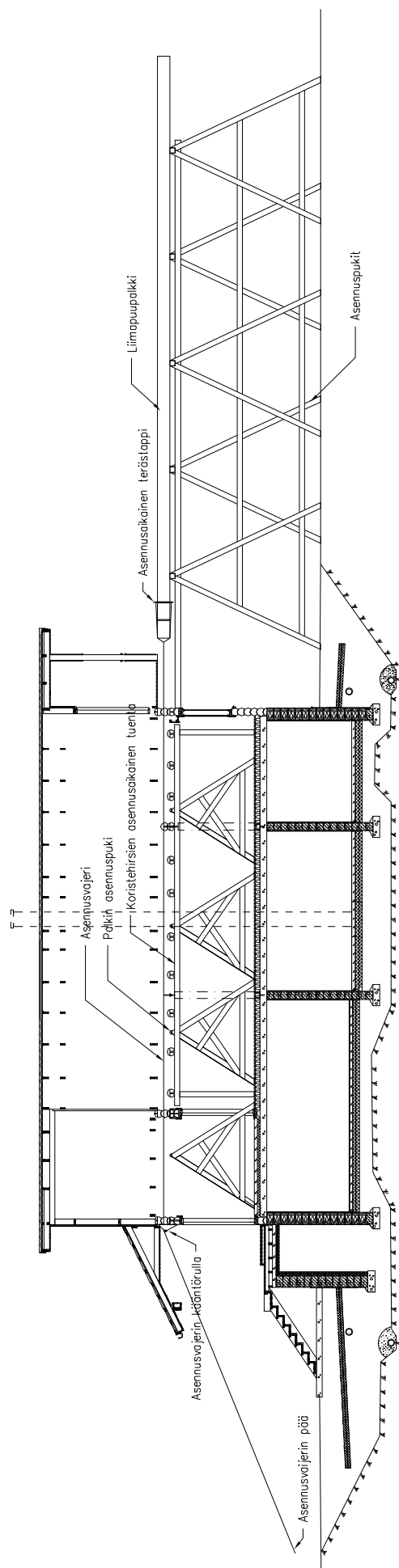
Nykyiset ja uudet lämmönläpäisykertoimet U

Taulukossa L7.1 on esitetty lämmönläpäisykertoimet hirsirakenteisen omakotitalon nykyisestä tilanteesta, ja lisäeristyksen jälkeen.

	nykyinen tilanne	lisäeristyksen jälkeen
Seinän U-arvo	0,520 (W/m²K)	0,295 (W/m²K)
Välipohjan U-arvo	0,096 (W/m²K)	0,089 (W/m²K)

Taulukko L7.1. Ulkovaipan lämmönläpäisykertoimet.

Välipohjapalkin asennusohje

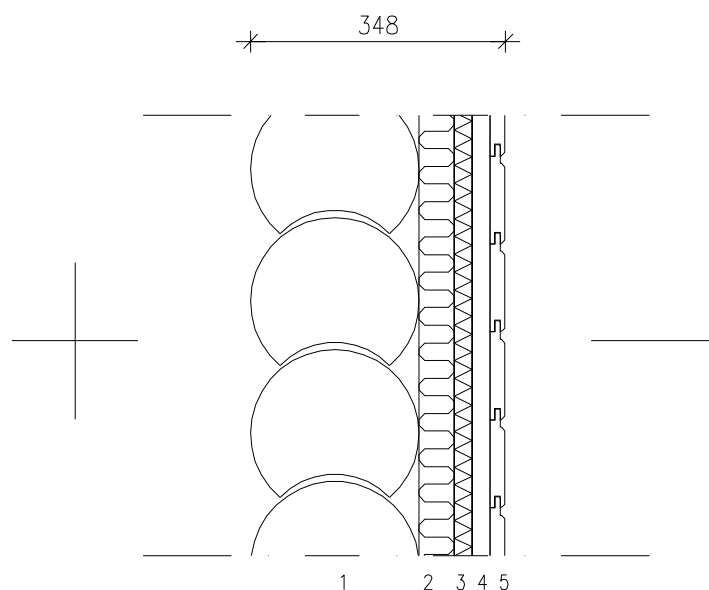


Kuva 1. Periaattellinen kuva välipohjan liimapuupalkin asennuksesta.

Väliopijapalkin asennuksen vaiheet:

1. Tuetaan välipohjan koristeihritet kuvan mukaisesti.
2. Poistetaan välipohjan lattialaudat, lämpöeristeet ja tuulensuojapaperi.
3. Poistetaan sisäkaton laudoitukset.
4. Puretaan vanha hirsirakenteinen palkki pois (vaaratapit säilytetään uudelleenkäyttöä varten).
5. Löysätään talon nukkakiristystangot.
6. Leikataan koristeihersiin ja seinän liimupuupalkkia varten tarvittavat lovet ja aukot.
7. Ulkona rakennetaan asennuspukit kuvanmukaisesti.
8. Pukille asennetaan uusi välipohjapalkki, jossa on valmiiksi tehty asennuskaiset reijit $\varnothing 30\text{mm}$.
9. Talon toiselle puolelle asennetaan asennusvajerin kääntärluulla.
10. Asennusvajerin toinen pää kiinnitetään liimupuupalkkiin ja toinen vansiin joka on kiinnitetty esim. painavaan autoon.
11. Vedetään vansiin liimupuupalkkia talon läpi ja vaihdetaan asennustapin paikka tarpeen mukaan.
12. Kun palkki on asennettu onalle paikalleen, porataan siihen tarvittavat reijit vaoratankoja varten. Vaoratangoilla ripustetaan koristeihritet takaisin paikoilleen.
13. Ennen koristeihersiin ripustamista asennetaan palkin alle kantavat pilari.
14. Lopuksi välipohjarakenteet toteutetaan rakennetapaselostuksen mukaisesti.

KOSA Xxxxx	KORTTELIT/LA XX	TÖNTTI/RN0 XX	RAKENNUSLUVAN TUNNUS
RAKENNUSTOIMENPIDE KORJAUSKOHDE			PIRISTUSTILAJ ASENNUSOHJE
OKT Opinnäytetyö xxxie xx Xxxxx			PIRISTUKSEN SISÄLTÖ Lämpöpumpkin asennusohje
		SIVUALUE	TYÖ Nro 1
			MUUTOS
		PRIVAT 23.2.2016	YHTIENK. Andrei Stennoov

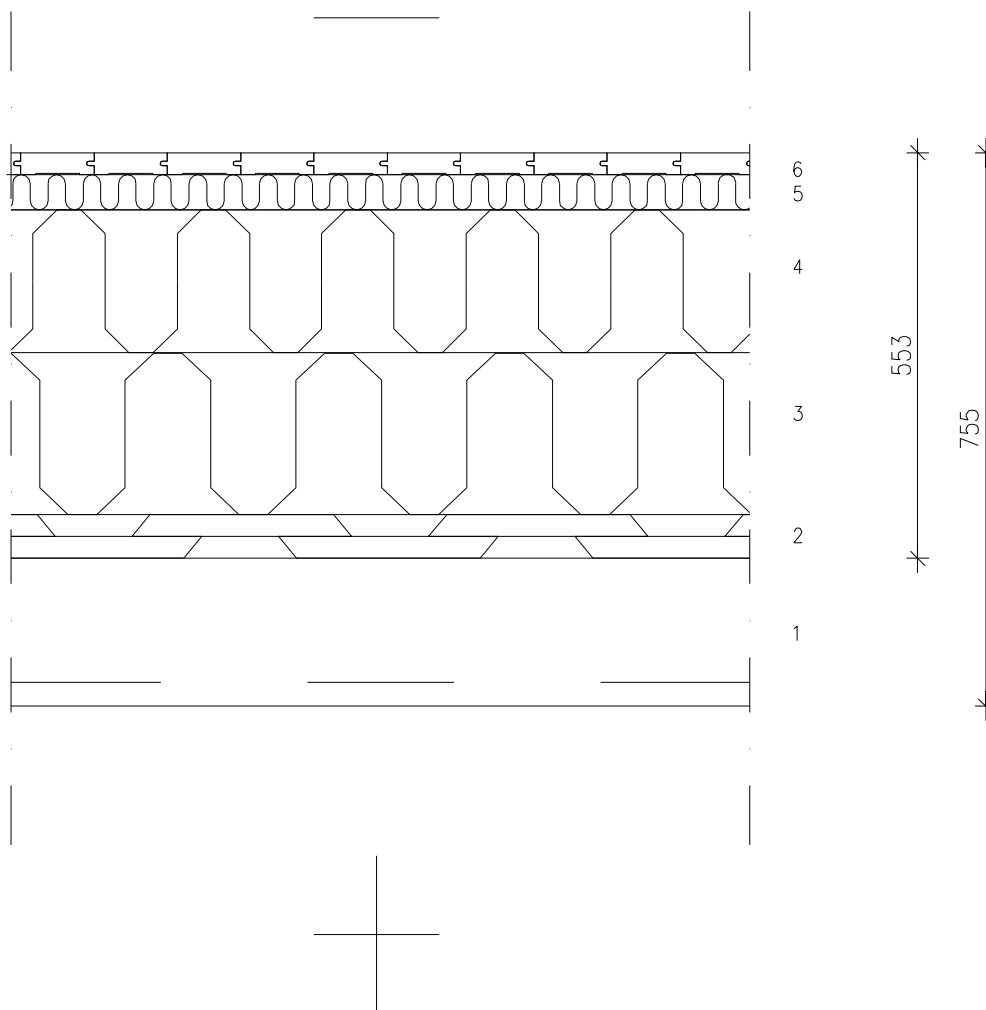


- 1 Akuperäinen hirsirunko $\varnothing 230\text{mm}$.
- 2 Ulkoseinän lisäeriste, puhallusvilla 48mm (EKO VILLA) + koolaus 48 x 48mm k600.
- 3 Tuulensuojakerros Runkoleijona 24mm.
- 4 Tuuletusrako 25mm ja koolaus 24 x 48mm, k600.
- 5 Ulkoverhouspaneelli UTV 21 x 150mm.

Ulkoseinän U-arvo on 0.295 W/m^2

Koolauksessa otettava huomioon hirsiseinän liikumista pystysuunnassa, koolauksen kiinteä piste on oltava katon koristehirsien kohdalla.

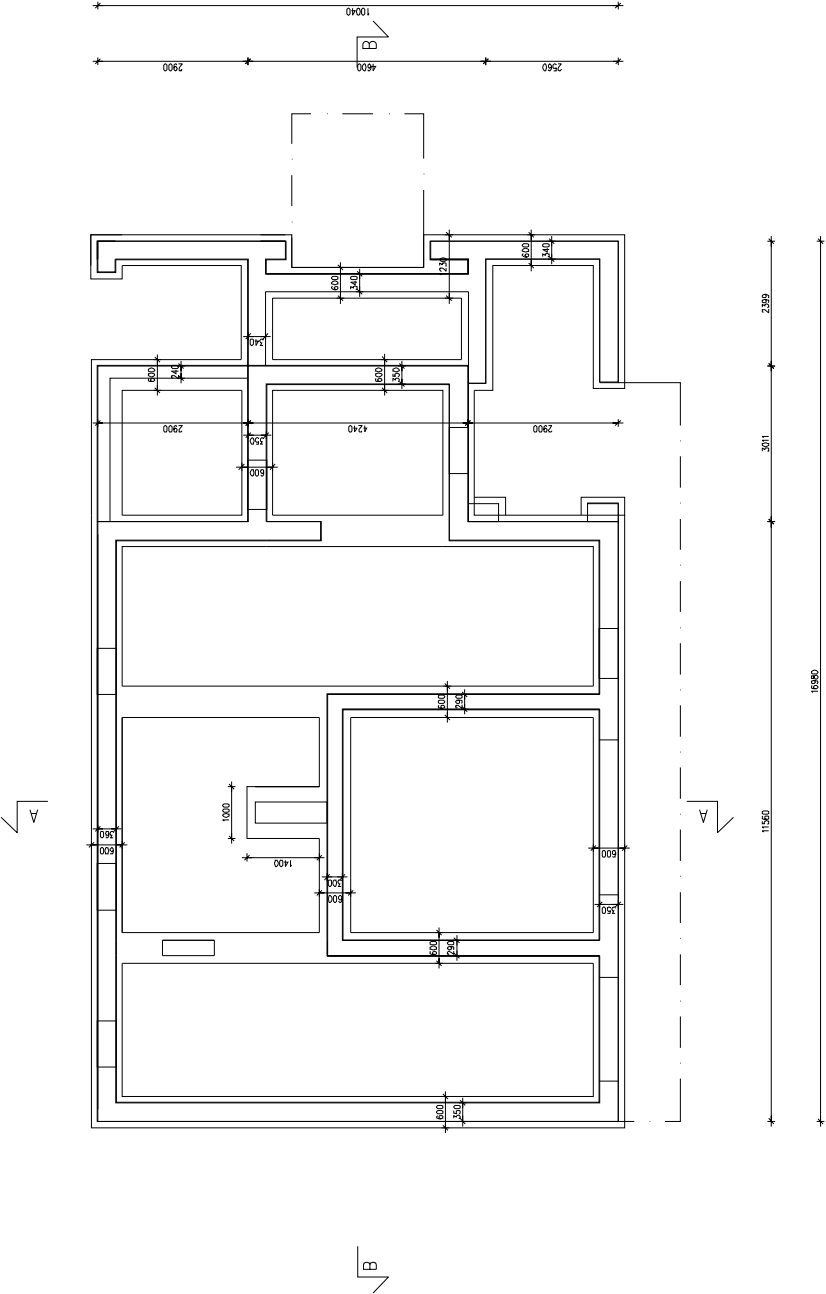
K.OSA Xxxxx	KORTTELI/TILA	TONTTI/RNo	RAKENNUSLUVAN TUNNUS	
RAKENNUSOIMENPIDE KORJAUSKOHD			PIIRUSTUSLAJI RAKENNEPIIRUSTUS	JUOKS.No 1/(2)
RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA OSOITE OKT Opinnäytetyö XXXtie XX Xxxxx			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Hirsirakenteinen ulkoseinä US2 lisäeristettynä	MITTAKAAVAT 1:10
			SUUN.ALA RAK	TYÖ No 1
			PÄIVÄYS 13.02.2016	PIIR.No 1
			YHT.HENK. Andrei Stepanov	MUUTOS



- 1 Kattorakenteen koristehirsi $\varnothing 230\text{mm}$. (ei huomioida välipohjan U-arvoa määrittäessä).
- 2 Välipohjan sisäpinnan limilaudoitus 60mm + tuulensuojapaperi (U-arvoa määrittäessä huomioidaan vain 30mm).
- 3 Puhallusvilla, selluvilla 220mm .
- 4 Puhallusvilla, selluvilla 195mm + NR-ristikot $k900$.
- 5 Lisäeriste puhallusvilla 48mm + koolaus $48 \times 48\text{mm}$ $k900$.
- 6 Lattialankut 30mm ja tuulensuojapaperi (ei huomioida U-arvoa määrittäessä).

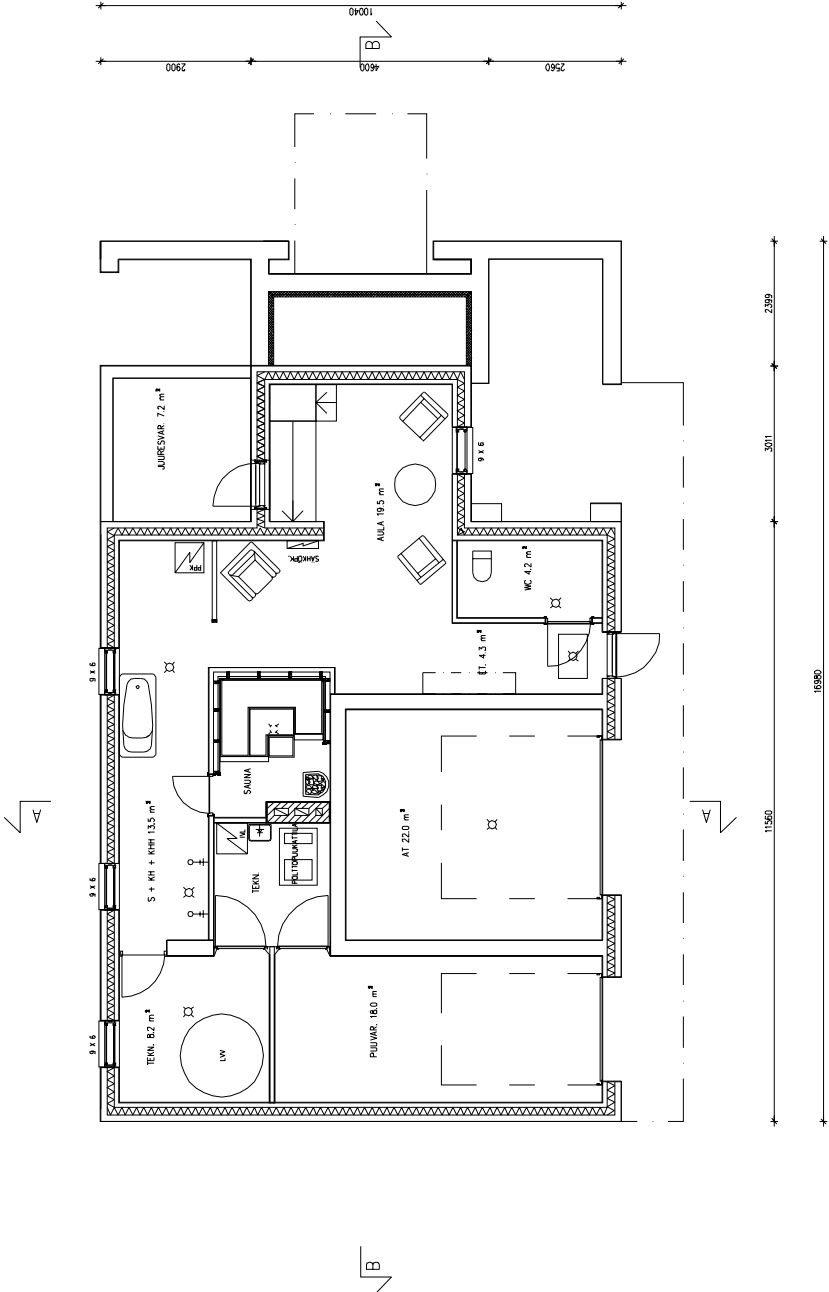
Välipohjan U-arvo on 0.089 W/m^2

K.OSA Xxxxx	KORTTELI/TILA	TONTTI/RNo	RAKENNUSLUVAN TUNNUS	
RAKENNUSTOIMENPIDE KORJAUSKOHDE			PIIRUSTUSLAJI RAKENNEPIIRUSTUS	JUOKS.No 2/(2)
RAKENNUSKOHTeen NIMI JA Osoite OKT Opinnäytetyö XXXtie XX Xxxxx			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Välipohja YP1/VP3	MITTAKAAVAT 1:10
			SUUN.ALA RAK	TYÖ No 1
			PÄIVÄYS 13.02.2016	PIIR.No 2
			YHT.HENK. Andrei Stepanov	MUUTOS



BETONI (C20/25)
TERÄS A500H 2+2Ø10, haat Ø6 K400
SALAOAJÄRJESTELMÄ
SADEVESIJÄRJESTELMÄ
RADONJÄRJESTELMÄ

K.Osa XXXXX	KORTTELITILA	TONIT/RNG	RAKENNUSLUVAN TUNNUS			
RAKENNUSOMENPIDE KORJAUSKOHD			PIIRUSTUSLAJI PÄÄPIIRUSTUS	JOKSEN 1/(11)		
RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE OKT Opinnäytetyö XXXXie XX XXXXX			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Perustuspiirustus	MITTAKAAVAT 1:100		
LOGO			SUUNN. ALA RAK	TYÖ No 1	PIIR. No 1	MUUTOS
			PÄIVÄYS 23.2.2016	YHT. HENK. Andrei Stepanov		

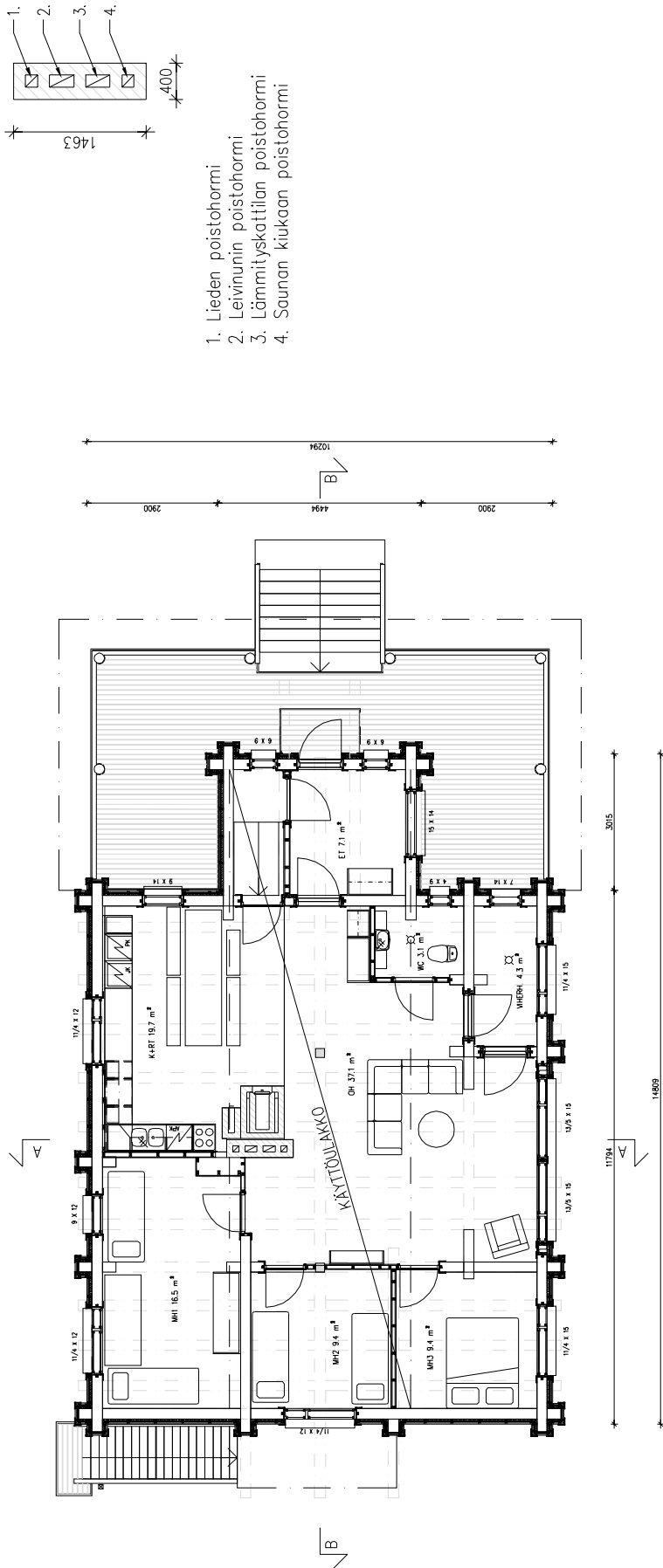


Paloluokka P3
Autotalli ympärinsä vähintään EI30
Katto betoniholvi 180mm
Seinät kevytsoraharkot 290mm

Ilmanvaihto
Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla erillisen suunnitelman mukaan.

K.O.S.A. XXXXX	KORTTELI/TILA	TONITTI/RNG	RAKENNUSLUVAN TUNNUS			
RAKENNUSLOMENPIDE KORJAUSKOHDE			PIIRUSTUSLAJI PÄÄPIIRUSTUS	JOUKSEN 2/(11)		
RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE OKT Opinnäytetyö XXXXie XX XXXXX			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Pohjapiirustus kellarikerros	MITTAKAAVAT 1:100		
LOGO			SUUNN. ALA RAK	TYÖ No 1	PIIR. No 2	MUUTOS
			PÄIVÄYS 23.2.2016	YHT. HENK. Andrei Stepanov		

Hormisto 1:50



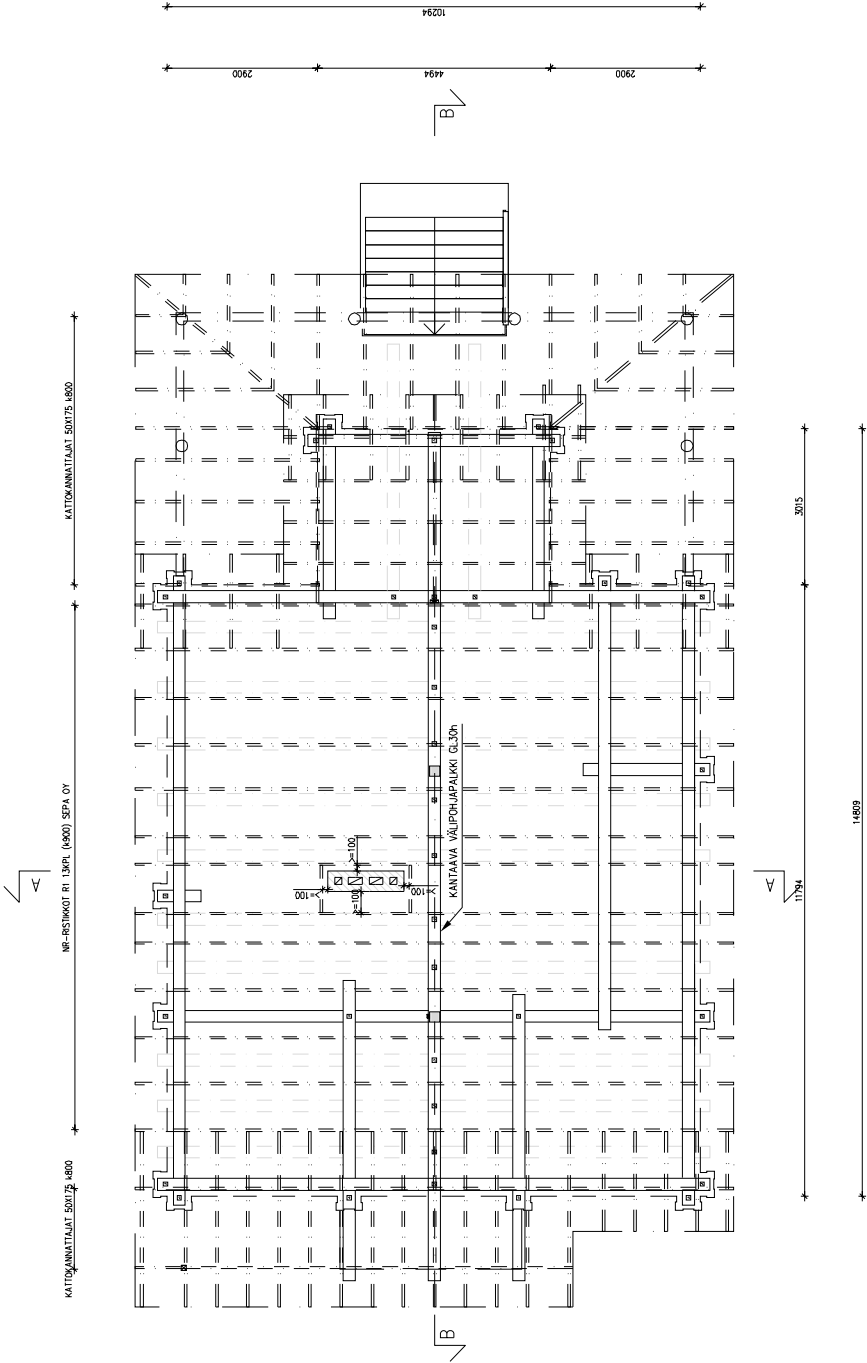
Lämmöntuotto: Puu, sähkö
Lämmöntuotto: Vesikiertoinen lämmitys (kellarikerroksessa vesikiertoinen lattialämmitys)

Ilmanvaihto
Koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla erillisen suunnittelman mukaan

Ikkunoiden pinta-ala:
1 krs. 20.24 m²
Pohjakerros 2.16 m²

Asuinkerroksessa ikkunoiden pinta-ala on 18.9% huonepinta-alasta

K.O.S.A. XXXXX	KORTTELI/TILA	TOIMITT/RYN	RAKENNUSLUVAN TUNNUS		
RAKENNUSLOMENPIDE KORJAUSKOHD			PIIRUSTUSLAJI PÄÄPIIRUSTUS	JOKS.No 3/(11)	
RAKENNUSOHTEEN NIMI JA OSQITE OKT Opinnäytetyö XXXXie XX XXXXX			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Pohjapiirustus, 1.krs Talon hormisto	MITTAKAAVAT 1:100 1:50	
LOGO			SUUN.ALAI RAK	Työ No 1	PIIR.No 3
			PÄIVÄYS 23.2.2016	YHT.HENK. Andrei Stepanov	MUUTOS



MITOITUSKUORMITUKSET: R1 (SEPA OY)

LUMI (katolla) 2,20 kN/m²

HYÖTYKUORMA 2,00 kN/m²

TUULIKUORMA 0,60 kN/m²

OMAPAINO: YP, 0,15; AP 0,30; ORSIK. 0,20 kN/m²

YLÄPOHJA RAKENNUSTAPASELOSTUKSEN MUKAANI

K.Osa XXXXX	KORTTELI/TILA	TOIMITT/RNG	RAKENNUSLUVAN TUNNUS		
RAKENNUSLOMENPIDE KORJAUSKOHDE			PIIRUSTUSLAI PÄÄPIIRUSTUS	JOKSEN 4	
RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA OSIO OKT Opinnäytetyö XXXXX XX XXXXX			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Pohjapiirros, vesikatto ja välipohjapalkisto	MITTAKAAVAT 1:100	
LOGO			SUUNN. ALA RAK	TYÖ Nro 1	PIIR.Nro 4
			PÄIVÄYS 23.2.2016	YHT.HENK. Andrei Stepanov	MUUTOS

LEIKKAUS A-A

- VK-vesikiti:
Kattokannattajat k300 rakennusmuuntelimen mukaan
Aluslate
Korotusrimat 30mm ja tuuletusväli,
Ruodelaudoitus
Peltikate, tilipolmu

YLÄPOHJA/VÄLIPOHJA YP1/YP3
Koristehittet Ø230mm
Sisäkaton vopokantili laudoitus 60mm
Tuulensuojapaperi
Punallusvilla 220mm + talon keskiliinalla yksi kannattipaikki
Punallusvilla 195mm + NP-ristikoiden alapaarteet k300
Punallusvilla 48mm
Oieskelua varten varattua aliuella tuulensuojapaperi ja lattialankku 30mm
U-arvo 0,089 W/m2

VÄLIPOHJA YP1:
Panttilauda 30mm
Punallusvilla 130mm + lattian korotuspalkkisto 50x130mm k600
Teräsbetoni-laatta 180mm palkkiala valattu
Kattorappaus

VÄLIPOHJA YP2:
Lattialaatta 335x335x10mm
Punallusvilla 80mm
Lämpöeriste FINNFOM 70mm
Teräsbetoni-laatta 180mm palkkiala valattu
Kattorappaus

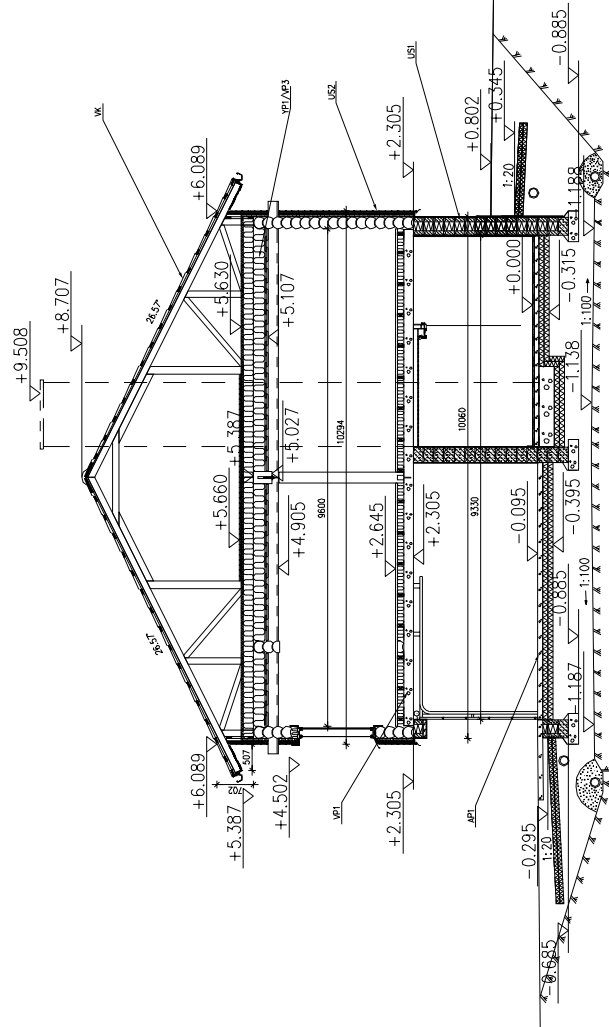
ALAPOHJA AP1:
TB-laatta 100mm
EPS-eriste 100x100mm
Kappalarakko
Suodatinkangas
Sorattytie
Mökkätiloissa tb-laatan on levitetty kosteussukupinnoite
jotka päälle asennettu laillalaatat 100x100x6mm

ULKOSINÄ US1:
Sensilatta 10mm
Lämpöeriste EKO-350P b=340mm
Rappaus ja kiviruuhprinoitus
U-arvo on 0,16 W/m2

ULKOSINÄ US2:
Pyörähirsi Ø230mm
Pystywoodia 48x48mm k600 + puhallusvilla
Runkolejona 24mm
Tuuletusreiko 22mm
Ukoverhoitus UTV 21x150mm
U-arvo on 0,295 W/m2

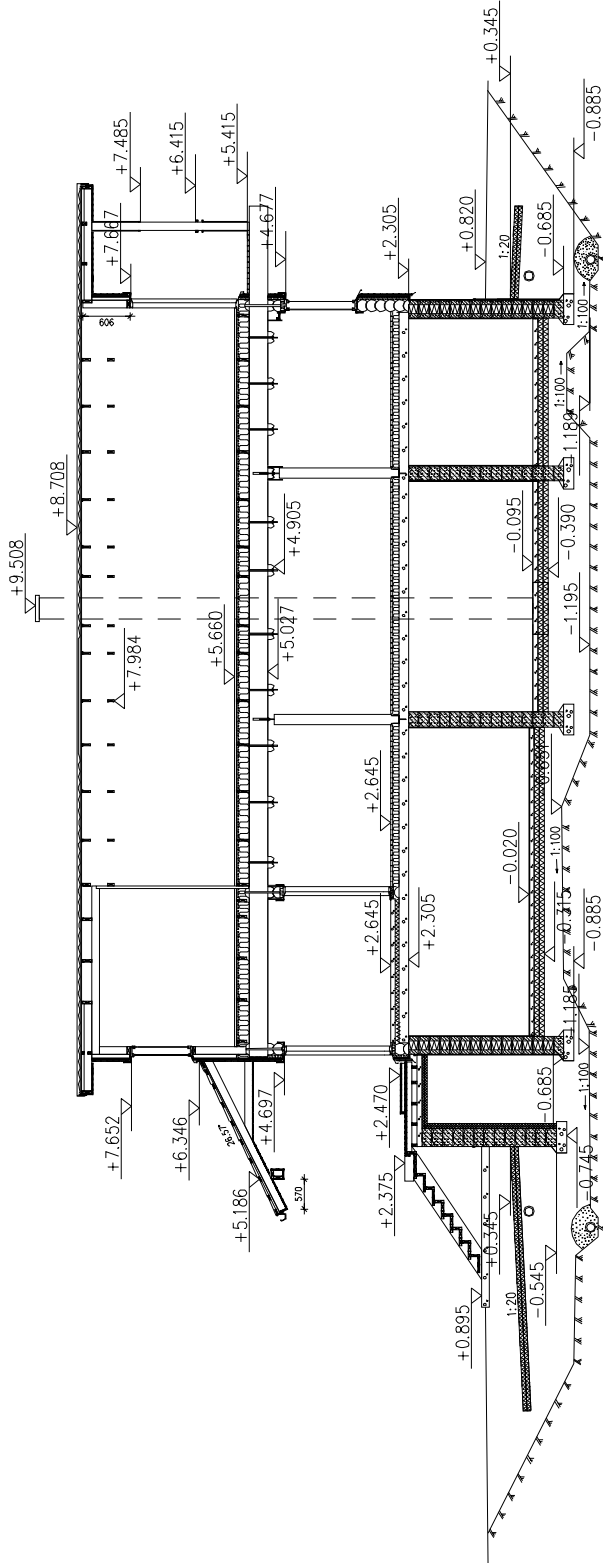
VÄLUSEINÄ VS1:
Sisäverhoituslaite STV 18mm
Rakennuspaperi
Puurunko ja mineraalivilla 74mm
Rakennuspaperi
Sisäverhoituslaite STV 18mm

PERUSTUKSEN RÖUTIERISTYS:
Routaeristeinä TermiSol EPS 120 Roulta ajattella TermiSol Super 200.
Sensilinja, leveys vähintään 1,0-1,2 m, paksuus 100mm.
Rakennuksen nurkissa, leveys vähintään 1,5-2,0 m, paksuus 150mm.



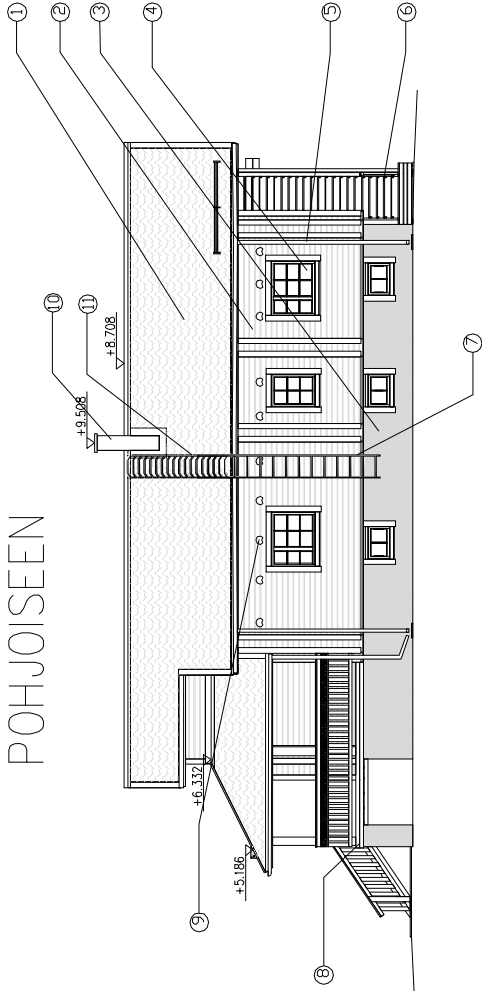
K.O.SA XXXXX	KORTTELI/TILA	TONITTI/RNG	RAKENNUSLUVAN TUNNUS		
RAKENNUSLOMENPIDE KORJAUSKOHD			PIIRUSTUSLAJI PÄÄPIIRUSTUS	JUOKS.No 5/(11)	
RAKENNUSKOHTEN NIMI JA OSOITE OKT Opinnäytetyö XXXXtie XX XXXXX			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ LEIKKAUS A-A	MITTAKAAVAT 1:100	
LOGO			SUUNN. ALA RAK	TYÖ No 1	PIIR.No 5
			PÄIVÄYS 23.2.2016	YHT.HENK. Andrei Stepanov	MUUTOS

LEIKKAUS B-B



K.O.S.A. XXXXX	KORTTELI/TILA	TONITTI/RNG	RAKENNUSLUVAN TUNNUS		
RAKENNUSOMENPIDE KORJAUSKOHD			PIIRUSTUSLAI PÄÄPIIRUSTUS	JOKS.No 6/(11)	
RAKENNUSOHTEEN NIMI JA OSQITE OKT Opinnäytetyö XXXXie XX XXXXX			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ LEIKKAUS B-B	MITTAKAAVAT 1:100	
LOGO			SUUNN. ALA RAK	TYÖ No 1	PIIR.No 6
			PÄIVÄYS 23.2.2016	YHT. HEIK. Andrei Stepanov	MUUTOS

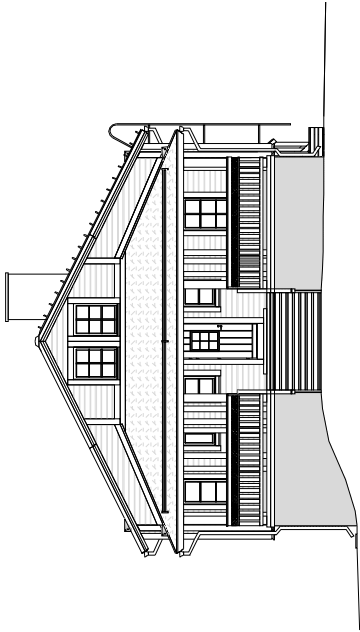
POHJOISEN



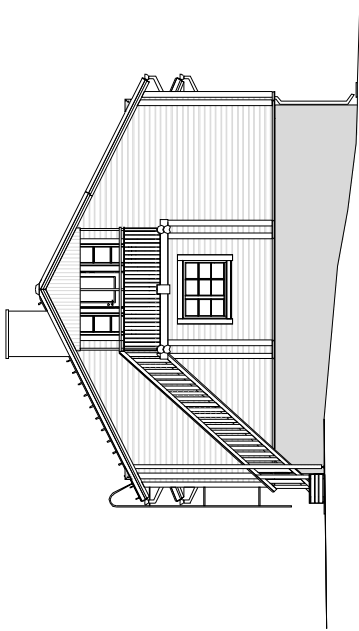
ETELÄÄN



ITÄÄN

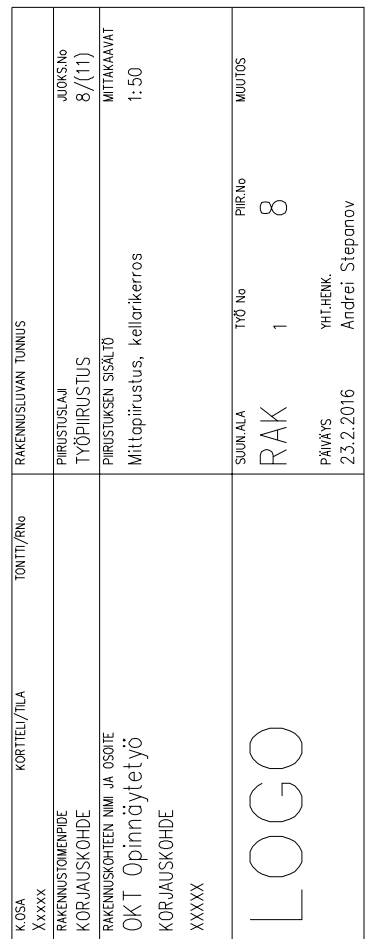


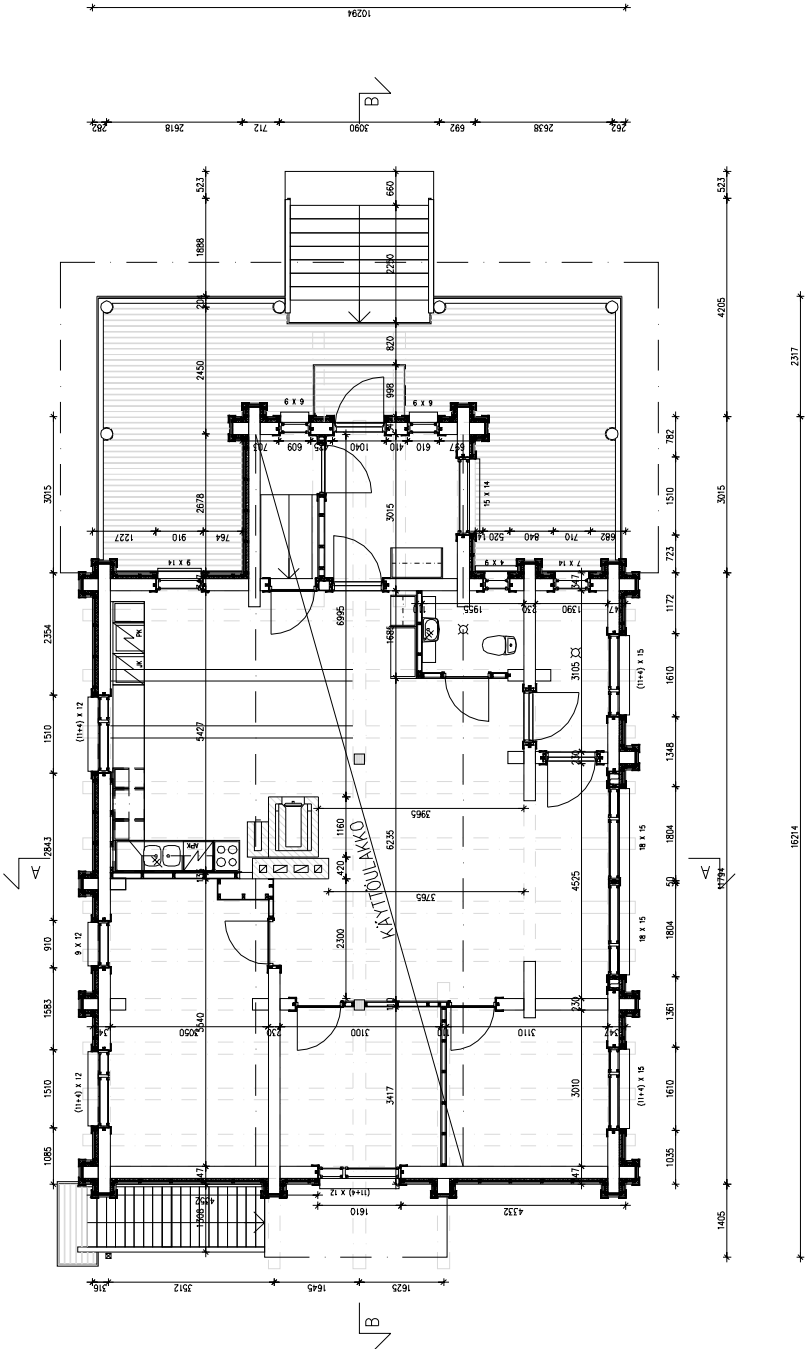
LÄNTEEN



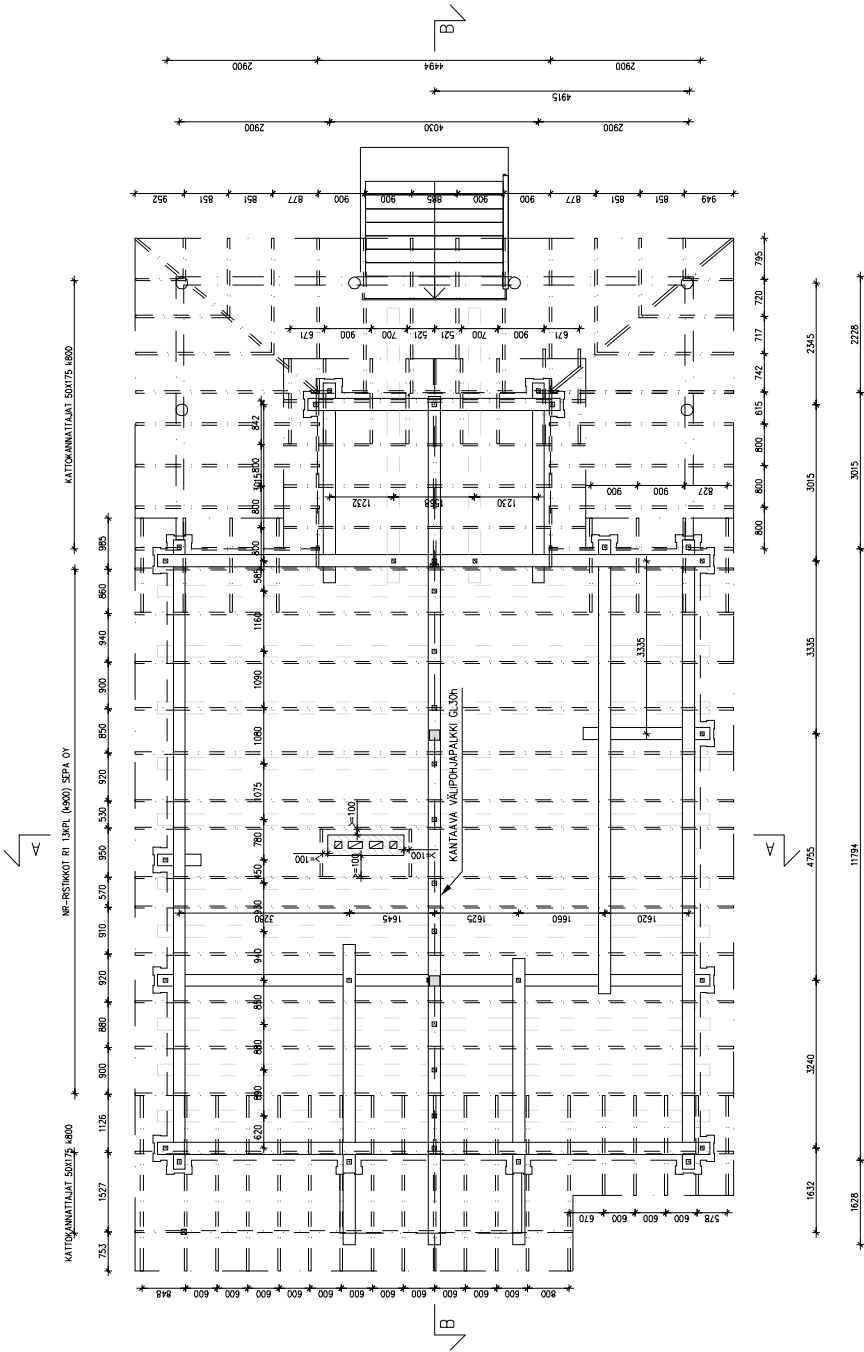
- 1 KATTO: Kuvioitu peltikate, tiilipömu P50 kiiltäväpintainen, väri RR29 tumman punainen. Kato on varustettu lumiputoamisestellä.
- 2 JULKISIVU SEINÄ: Lautaverhoaus, UTV 21x 150mm, keltainen.
- 3 JULKISIVU SOKKELI/KELLARI: Betoniharkkoinen kiviruuhepintainen Weber-vetonit SR raakakko 2–5mm. Lasti, Weber-vetonit 138 punainen.
- 4 IKKUNAT: Pihla Varna e, 2+1 lasit, U-arvo 1.0–0.8 W/m2K, väri valkoinen RAL 9010
- 5 Sadevesikourut ja syöksyputket, RAUTARUUKIN kantikas 75 x 100mm, väri valkoinen RR 20
- 6 Portaat ulakalle, pintamateriaali painekyllästettyä puuta
- 7 Palotikkat, kumasinkittyä halkaisijalta 30mm:n täräspuikesiä
- 8 Terassi, pintamateriaali painekyllästettyä puuta
- 9 Väiporajarakenteen koristeherren pääty
- 10 Sawupippu, vuorattu täräksisellä suojkatelolla, väri punainen
- 11 Lappetitkat, kumasinkittyä halkaisijalta 30mm:n täräspuikesiä

K.O.S.A. XXXX	KORTTELI/ILMA XX	TONTTI/PINO XX	RAKENNUSLUVAN TUNNUS
RAKENNUSTUNNUS KORJAUSKOHDE	PIIRUSTUSAJA 7/(11)	JULKISIVU 7/(11)	
RAKENNUSTUNNUS OKT Opinnäytelyö	PIIRUSTUKSEN Julkisivut	MITAKAAVAT 1:100	
XXXX	XXXX	XXXX	
LOGO	ARK	TYÖ Nro 1	PIIR. Nro 7
	PAIKAS 1.2.2016	MIT. Nro Andrei Stepanov	





K.O.SA Xxxxxx	KORTTEI/ TILA	TONIT/ RNO	RAKENNUSLUVAN TUNNUS		
RAKENNUSLOMENPIDE KORJAUSKOHDE			PIIRUSTUSLAJI TYÖPIIRUSTUS	JUKS.No 9/(11)	
RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE OK T. Opinnäytetyö xxxxxx XX xxxxxx			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Mittapiirustus, 1.krs	MITTAKAAVAT 1: 50	
LOGO			SUUNN. ALA RAK	TYÖ No 1	PIIR.No 9
			PÄIVÄYS	YHT.HENK.	
			23.2.2016	Andrei Stepanov	
					MUUTOS



K.O.S.A. XXXXXX	KORTTELI/TILA	TONIT/RNG	RAKENNUSLUVAN TUNNUS		
RAKENNUSLOMENPIDE KORJAUSKOHDE			PIIRUSTUSLAI TYÖPIIRUSTUS	JOKS.No 10/(11)	MITTAKAAVAT
RAKENNUSKOHTEN NIMI JA OSOITE OKT Opinnäytetyö XXXXtie XX XXXXXX			PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Mittapiirustus, vesikatto ja välipohjapalkisto 1:50		
LOGO	SUUNN. ALA	TYÖ No	PIIR.No	MUUTOS	
	RAK	1	10		
	PÄIVÄYS	YHT.HENK.			
	23.2.2016	Andrei Stepanov			

